Dietrich Bock

GRUNDLAGEN, PROBLEME UND LÖSUNGSANSÄTZE MODELLGESTÜTZTER LANGFRISTPLANUNG

1976

1977

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547212_0025

GRUNDLAGEN, PROBLEME UND LÖSUNGS-
ANSÄTZE MODELLGESTÜTZTER LANGFRISTPLANUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Wirtschaftswissenschaft
durch den Fachbereich Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster

Vorgelegt von
Dietrich Bock
aus
Herford
1977

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Erster Berichterstatter	:	Prof. Dr. H. Wagner
Zweiter Berichterstatter	:	Prof. Dr. L. Mülhaupt
Dekan	:	Prof. H. Hartmann Ph.D.
Tag der mündlichen Prüfung:		7. Juli 1976

Inhaltsverzeichnis

Seite

A. Problemstellung und Gang der Untersuchung 1

1. Problemstellung 1

2. Gang der Untersuchung 2

B. Grundlagen modellgestützter Unternehmungsplanung 4

1. Merkmale des Planungsprozesses 4

2. Bedeutung normativer und deskriptiver Modelle des Entscheidungsverhaltens für die Erklärung von Planungsprozessen 7

2.1. Normative Modelle des Entscheidungsverhaltens 7

2.2. Deskriptive Modelle des Entscheidungsverhaltens 10

2.3. Schlußfolgerungen für Modelle des Planungsprozesses 14

3. Problemstrukturierung und Problemlösung im Rahmen modellgestützter Unternehmungsplanung 17

3.1. Die Planungssituation als Ausgangspunkt der Problemstrukturierung und Problemlösung 17

3.2. Operationalisierung eines Problems durch Operationalisierung der Planungsziele und Beschränkung der sachlichen und zeitlichen Ausdehnung des Problemfeldes 19

3.3. Reduktion der Ungewißheit durch Prognose problemrelevanter Umweltverläufe 22

3.3.1. Ungewißheitsgrade zur Kennzeichnung des Informationsstandes 23

3.3.2. Das Konzept des Zustandsbaumes 24

3.3.3. Die Bestimmung der den Kanten eines Zustandsbaums zugeordneten Wahrscheinlichkeiten 27

3.3.4. Quantitative und qualitative Probleme der Bestimmung des problemrelevanten Datenvolumens 29

3.3.4.1. Strategien zur Reduktion des Datenvolumens bei Berücksichtigung mehrerer Umweltvariabler 30

3.3.4.2. Punkt- bzw. Intervallschätzungen bei der Prognose von Umweltverläufen 33

3.3.5. Entscheidungen über den Informationsstand 35

3.4. Reduktion der Problemkomplexität durch Reduktion der Menge der Handlungsalternativen 46

3.5. Die Bewertung geplanter Strategien 50

3.5.1. Die Bildung formaler Modelle zur Ermittlung der Konsequenzen geplanter Strategien 51

3.5.2. Die Struktur der Ergebnismenge 58

3.5.3. Umstrukturierung der Ergebnismenge als Grundlage der Strategienauswahl 63

Seite

3.6. Die Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie 67
3.6.1. Entscheidung nach dem Bernoulli-Prinzip 70
3.6.2. Entscheidung nach dem Anspruchsanpassungsprinzip 74
3.7. Anforderungen an Modelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung 79

C. Modelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung 82
1. Modelle der mathematischen Programmierung zur Ermittlung optimaler Strategien 82
1.1. Deterministische Planungsmodelle 82
1.2. Stochastische Planungsmodelle 85
1.2.1. Flexible Planung mit Hilfe der linearen Programmierung 86
1.2.2. Vergleich zwischen starrer und flexibler Planung 91
1.2.3. Die Eignung flexibler Planungsmodelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung 97
2. Methodische Grundlagen der Simulation 100
2.1. Abgrenzung des Simulationsbegriffs 100
2.2. Klassifikation von Simulationsmodellen 102
2.3. Überlegungen zur Auswahl einer geeigneten Modellstruktur für ein Simulationsmodell zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung 107
3. Simulationsmodelle zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung 109
3.1. Überblick über vorhandene Simulationsmodelle 110
3.1.1. Budget-Simulations-Modelle 110
3.1.2. Modelle zur Risikoanalyse 113
3.2. Entwicklung der Grundstruktur eines Simulationsmodells zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung 117
3.2.1. Ein deterministisches Modell als Ausgangsbasis 117
3.2.2. Strategienbewertung und Strategienauswahl bei stochastischen Eingabefolgen 126
3.2.2.1. Methodische Grundlagen der Erstellung von Zustandsgeschichten bei stochastischen Eingabefolgen 126
3.2.2.2. Strategiesimulation bei einer Strategienmenge ohne Entscheidungsspielraum 130
3.2.2.3. Strategiesimulation bei einer Strategienmenge mit Entscheidungsspielraum 144

Seite

3.2.3. Möglichkeiten der Gewinnung periodenbezogener Informationen bei Simulation mit stochastischen Eingabefolgen 157

3.3. Vergleich von Modellen der mathematischen Programmierung mit Simulationsmodellen 161

D. Zusammenfassung 164

Symbolverzeichnis 166
Abkürzungsverzeichnis für Zeitschriften 168
Abbildungsverzeichnis 169
Tabellenverzeichnis 170
Literaturverzeichnis 171
Anhang I 179
Anhang II 185
Anhang III 195

A. Problemstellung und Gang der Untersuchung

1. Problemstellung

Bei der Entwicklung von Modellen zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung sind zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze festzustellen: Einen Schwerpunkt der Entwicklung bilden Modelle der mathematischen Programmierung, die eine simultane Planung aller im Modell erfaßten Aktivitäten bezwecken. Hierbei handelt es sich einmal um deterministische Modelle[1], d.h. bei der Bestimmung einer optimalen Lösung wird nur eine Datensituation zugrundegelegt, zum anderen um stochastische Modelle, die die Ungewißheit über die zukünftige Datenentwicklung bei der Ermittlung einer optimalen Lösung zu berücksichtigen versuchen[2].

Einen zweiten Schwerpunkt der Entwicklung bilden Simulationsmodelle, die im Gegensatz zu Modellen der mathematischen Programmierung keine Optimallösungen ermitteln, sondern durch sukzessiven Vergleich der Ergebnisse alternativer Handlungsprogramme eine befriedigende Lösung anstreben[3].

Verfolgt man die Entwicklung dieser Modelle, so entsteht der Eindruck, daß häufig versucht wird, Modellstrukturen, die im Rahmen der Unternehmungsforschung für bestimmte Probleme entwickelt wurden, unreflektiert auf betriebswirtschaftliche Probleme zu übertragen. Sobald man einmal gezeigt hatte, daß die Formulierung betriebswirtschaftlicher Probleme in einer modelladäquaten Form möglich ist, wurde vielfach, ohne die Eignung der Modellstruktur einer weiteren Prüfung hinsichtlich ihrer Problemadäquanz zu unterziehen, versucht, durch schrittweise Erweiterung der Modelle zu Totalmodellen zu gelangen, die nahezu alle Planungsbereiche einer Unternehmung erfassen.

---

1 Eine Übersicht über deterministische Modelle findet sich z.B. bei Seelbach, H., Planungsmodelle in der Investitionsrechnung, Würzburg und Wien 1967, S. 3 ff.

2 Vgl. z.B. Laux, H., Flexible Investitionsplanung - Einführung in die Theorie der sequentiellen Entscheidung bei Unsicherheit, Opladen 1971.

3 Eine Übersicht über sogenannte Corporate Simulation Models findet sich z.B. bei Goldberg, W. (Hrsg.), Proceedings of the Symposium on Computer Simulation Versus Analytical Solutions For Business and Economic Models, Göteborg 1973.

Ziel dieser Arbeit ist es nun nicht, durch Einbeziehung eines eventuell noch nicht erfaßten Planungsbereichs eine weitere Lücke auf dem Weg zu Totalmodellen zu schließen, sondern vielmehr eine geeignete Modellstruktur für die Langfristplanung zu entwickeln und diese vorhandenen Modellstrukturen gegenüberzustellen. Eine solche Vorgehensweise ist deshalb zweckmäßig, weil es aus der Sicht einer an praktischen Problemen orientierten Betriebswirtschaftslehre wesentlich ist, problemadäquate Modelle zu entwickeln, und nicht für vorhandene Modellstrukturen die geeigneten Probleme zu suchen bzw. die Probleme so lange zu verändern, bis sie auf eine gegebene Modellstruktur passen; denn dies führt häufig dazu, daß nicht das gestellte Problem, sondern ein völlig anderes gelöst wird.

2. *Gang der Untersuchung*

Im folgenden Teil B dieser Arbeit wird zunächst die allgemeine Struktur eines mehrstufigen Planungsproblems abgeleitet. Da eine theoretische Grundlage in Form einer Planungstheorie z.Zt. nicht vorhanden ist, werden zunächst normative und deskriptive Modelle des Entscheidungsverhaltens auf ihre Eignung zur Erklärung von Planungsprozessen überprüft. Auf der Grundlage eines allgemeinen Problemlösungsprozesses werden die zur Lösung eines Planungsproblems notwendigen Einzelaktivitäten dargestellt und dabei schrittweise die allgemeine Problemstruktur entwickelt.

Die Orientierung des Planungsprozesses am Problemlösungsprozeß führt zwangsläufig zu einer Auseinandersetzung mit den Problemen der Informationsgewinnung, der Strategiengenerierung und Strategienbewertung. Im Mittelpunkt des Teils B stehen folglich die Probleme der Erfassung des problemrelevanten Datenvolumens sowie eine Diskussion der Möglichkeiten, die zu berücksichtigenden Datenkonstellationen einmal problemadäquat zu erfassen und zum anderen auf einen an die Informationsverarbeitungskapazität eines Planungsträgers angepaßten Umfang zu reduzieren. Anschließend wird gezeigt, welche Möglichkeiten bestehen, die bei einem mehrstufigen Planungsproblem zu erwartende Ergebnismenge so umzustrukturieren, daß die Entscheidung für eine Handlungsalternative möglich ist.

Die Entscheidung für eine Handlungsalternative verlangt eine Entscheidungsregel, die an die kognitiven Fähigkeiten eines Planungsträgers angepaßt ist.

Im Hinblick auf diese Problemstellung wird die Risiko-Nutzentheorie der Anspruchsanpassungstheorie gegenübergestellt, In diesem Zusammenhang wird gezeigt, daß insbesondere im Hinblick auf mehrfache Zielsetzung die Anspruchsanpassungstheorie der Risikonutzentheorie vorzuziehen ist.

Aus der im Teil B entwickelten allgemeinen Problemstruktur werden dann Anforderungen an Modelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung abgeleitet, die den Bezugsrahmen für die Überprüfung bereits vorhandener Modelle bilden. Im Teil C werden zunächst die Modelle der mathematischen Programmierung untersucht. Diesen Modellen werden dann Simulationsmodelle gegenübergestellt. Im Anschluß daran wird für alternative Planungssituationen die Grundstruktur eines Simulationsmodells zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung entwickelt.

B. *Grundlagen modellgestützter Unternehmungsplanung*

1. *Merkmale des Planungsprozesses*

In jüngster Zeit ist eine verstärkte Diskussion von Planungsproblemen im gesellschaftlich-politischen wie auch im rein betriebswirtschaftlichen Bereich zu beobachten. Als Ursache wird die Notwendigkeit der Bewältigung einer immer komplexeren Umwelt gesehen. Besonders im gesellschaftlich-politischen Bereich hat die Einsicht zugenommen, daß Planung keineswegs mit einer Einschränkung von Freiheit verbunden sein muß, sondern eine notwendige Voraussetzung zur Erhaltung zukünftigen Freiheitsspielraumes darstellen kann[1]. Umstritten ist allerdings der Umfang sowie die Form der Planung[2], insbesondere das Problem der Beteiligung von Betroffenen am Planungsprozeß.

Im betriebswirtschaftlichen Bereich liegt der Schwerpunkt der aktuellen Planungsdiskussion nicht bei der generellen Notwendigkeit der Planung. Im Mittelpunkt stehen hier in erster Linie Fragen des Aufbaus von Planungssystemen, der Entwicklung effizienter Hilfsmittel wie des Modell- und Computereinsatzes und des Formalisierungsgrades der Planung[3]. Neben diesen rein anwendungsorientierten Problemstellungen gewinnen als Folge der intensivierten Planungsdiskussion Fragen der wissenschaftstheoretischen Fundierung der Planung an Bedeutung. Ziel dabei ist die Entwicklung einer interdisziplinär ausgerichteten Planungstheorie[4] mit den Teildisziplinen Planungslogik, empirische Planungstheorie und Planungstechnologie[5]. Obwohl eine Reihe

---

1 Vgl. z.B. Lenk, H., Erklärung- Prognose-Planung, Skizzen zu Brennpunktproblemen der Wissenschaftstheorie, Freiburg 1972, S. 63.

2 Vgl. Schelski, H., Planung der Zukunft. Die rationale Utopie und die Ideologie der Rationalität. In: Soziale Welt, 17. Jg. (1966), S. 161 f.

3 Vgl. Szyperski, N., Forschungs- und Entwicklungsprobleme der Unternehmungsplanung. In: Modell- und computergestützte Unternehmungsplanung, Hrsg. E. Grochla und N. Szyperski, Wiesbaden 1973, S. 23 ff.; Szyperski, N., Planungswissenschaft und Planungspraxis. Welchen Beitrag kann die Wissenschaft zur besseren Beherrschung von Planungsproblemen leisten?, In: ZfB, 44. Jg. (1974), S. 678; Wild, J., Grundlagen der Unternehmungsplanung, Hamburg 1974, S. 12.

4 Vgl. Ozbekhan, H., Toward a General Theory of Planning: In: Perspectives of Planning, Hrsg. E. Jantsch, Paris 1969, S. 45 ff.; Stachowiak, H., Grundriß einer Planungstheorie. In: Kommunikation, 6. Jg. (1970), S. 1 ff.; Lenk, H., a.a.O., S. 95 ff.; Szyperski, N., Planungswissenschaft und Planungspraxis, a.a.O., S. 669 f.; Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 25 ff.

5 Vgl. Szyperski, N., Planungswissenschaft und Planungspraxis, a.a.O., S. 681 f.; Wild, J. Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 26 f.

von Ansätzen zur Planungslogik und auch einige empirische Untersuchungen des Planungsverhaltens vorhanden sind, ist zum derzeitigen Zeitpunkt eine eigenständige Planungstheorie nicht erkennbar.

Das Fehlen einer umfassenden Planungstheorie wird schon bei dem Versuch deutlich, den Begriff Planung allgemein zu definieren. Das Spektrum der Definitionsversuche ist derartig weit, daß nur noch von einer semantischen Konfusion gesprochen werden kann. Auf eine Diskussion alternativer Planungsbegriffe[1] wird deshalb an dieser Stelle verzichtet, zumal es fraglich ist, ob beim derzeitigen Stand der Forschung eine allgemeine problemungebundene Planungsdefinition überhaupt möglich ist[2].

Vielmehr erfolgt die Eingrenzung des Phänomens Planung durch eine Reihe von Merkmalen, die jeder planenden Tätigkeit zugrundeliegen und aus der spezifischen Planungssituation resultieren[3]:

(1) Planung ist generell zukunftsbezogen, d.h. Planung umfaßt einen Zeitraum, der in der Gegenwart beginnt und am Planungshorizont endet. Dieser Zeitraum wird allgemein als Planungszeitraum bezeichnet, dessen zeitlicher Erstreckung zwar theoretisch keine Grenze gesetzt ist, der jedoch in praktischen Fällen durch subjektive und objektive Gegebenheiten begrenzt wird[4].

(2) Gegenstand der Planung sind zukünftige Handlungen in einer noch nicht realisierten Umwelt[5]. Zukünftige Zustände der Umwelt sind daher im Wege

---

1 Eine ausführliche Darstellung und Kritik alternativer Planungsbegriffe findet sich bei Weber, H., Die Spannweite des betriebswirtschaftlichen Planungsbegriffs. In: ZfhF, 16. Jg. (1964), S. 724 ff. sowie Lenk, H., a.a.O., S. 72 ff.

2 Vgl. Lenk, H., a.a.O., S. 81; Stachowiak, H., Allgemeine Modelltheorie, Wien und New York 1973, S. 108.

3 Vgl. Kosiol, E., Planung als Lenkungsinstrument der Unternehmungsleitung. In: ZfB, 35. Jg. (1965), S. 389 ff.; Hill, W., Unternehmungsplanung, Stuttgart 1966, S. 7 ff.; von Zwehl, W., Untersuchung zur Erstellung einer Planbilanz als Ergänzung des Jahresabschlusses, Berlin 1968, S. 49 ff.; Ozbekhan, H., a.a.O., S. 151 ff.; Berthel, J. und Moews, D., Information und Planung in industriellen Unternehmungen, Berlin 1970, S. 32 ff.; Aghte, K., Strategie und Wachstum der Unternehmung, Baden-Baden und Bad Homburg 1972, S. 17 ff.; Macharzina, K., Reduktion von Ungewißheit und Komplexität durch Prognose und Planung. In: MI, Vol. 15 (1975), H. 6, S. 29 f.; Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 13.

4 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, 2. Aufl., Opladen 1971, S. 38 ff.

5 In diesem Sinn wird Planung häufig als gedankliche Antizipation zukünftiger Handlungen definiert. Damit wird jedoch nur ein wesentliches Planungsmerkmal erfaßt. Vgl. dazu Grochla, E., Wesen, Objekt und Vollzug

der Prognose zu bestimmen, wobei i.d.R. unterschiedliche Zukunftslagen denkbar sind und Ungewißheit darüber besteht, welche der alternativen Zukunftslagen tatsächlich eintreten wird. Die zeitlich vorgezogene Analyse zukünftiger Handlungsmöglichkeiten zielt auf die Vermeidung von Improvisation, die bei Eintritt nicht antizipierter Umweltzustände einsetzt. Planung und Improvisation weisen strukturell gleiche Merkmale auf. Improvisation liegt jedoch eine schmalere Informationsbasis zugrunde, die durch den kürzeren Abstand zur Entscheidung für eine Handlungsalternative und ihrer Realisation bedingt ist.

(3) Planung erfolgt bewußt und in einem bestimmten Sinne rational[1]. Rationalität kennzeichnet Planung damit als eine Verhaltensweise, die geeignet ist, bestimmte Ziele bei Beachtung bestimmter Grenzen und Bedingungen zu erreichen, wobei Ziele selbst Gegenstand der Planung sein können.

(4) Planung ist kein punktueller Akt, sondern ein mehrstufiger, sich ständig wiederholender informationsverarbeitender Prozeß, der aus einer Vielzahl von Einzelprozessen besteht, wobei Beginn und Abschluß sowie Vor- und Rückkopplungsbeziehungen zwischen den Teilprozessen nicht definitiv bestimmt sind.

Diese Merkmale sind charakteristisch für eine Tätigkeit, die als Planungsprozeß bezeichnet werden soll. In der konkreten Planungssituation sind sie durch weitere Merkmale zu ergänzen, die vom Planungsobjekt sowie der planenden Institution abhängen. Die Merkmale (1) bis (4) sind somit als Minimalkomponenten eines allgemeinen Planungsprozesses aufzufassen.

---

der Unternehmungsplanung. In: Unternehmungsplanung als Instrument der Unternehmungsführung, AGPLAN-Schriftenreihe, Bd. 9, Wiesbaden 1965, S. 15; Hill, W., a.a.O., S. 8; Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 15.

1 Rationalität wird verschieden weit definiert. Der hier verwendete Rationalitätsbegriff bezeichnet jede Handlung als rational, wenn sie mit den vorhandenen Informationen und dem Wertsystem eines Individuums im Einklang steht. Allgemein wird dieser Rationalitätsbegriff als formale Rationalität bezeichnet. Vgl. Gäfgen, G., Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 2. Aufl., Tübingen 1968, S. 18 ff.; Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Erster Band, Verhaltenswissenschaftliche Ansätze der Entscheidungstheorie, Wiesbaden 1970, S. 62 ff.

2. *Bedeutung normativer und deskriptiver Modelle des Entscheidungsverhaltens für die Erklärung von Planungsprozessen*

Die Analyse zukünftiger Handlungsmöglichkeiten erfolgt im Planungsprozeß im Hinblick auf ein bestimmtes Planungsergebnis, das allgemein als Plan bezeichnet wird und in dem zukünftige Handlungsweisen dokumentiert sind[1]. Da dem planenden Individuum i.a. alternative Handlungsweisen zur Verfügung stehen, ist die Festlegung eines Plans mit der Auswahl einer Handlungsweise aus mehreren möglichen verbunden. Analyse des Planungsprozesses bedeutet damit zumindest in einem bestimmten Stadium des Planungsprozesses ebenfalls eine Analyse des Wahlaktes, der i.a. als Entscheidung bezeichnet wird.

Probleme des Wählens sind Gegenstand der Entscheidungstheorie, die die "logischen und zum Teil empirischen Analysen des rationalen Verhaltens"[2] in Entscheidungssituationen umfaßt. Dabei sind normative und deskriptive Modelle des Entscheidungsverhaltens zu unterscheiden, die hinsichtlich ihrer Zielsetzung, der Definition rationalen Verhaltens, der zugrundegelegten Entscheidungssituation und der Fassung des Entscheidungsbegriffs differieren[3]. Wegen der engen Verknüpfung von Planungs- und Entscheidungsbegriff werden im folgenden die wesentlichen Elemente normativer bzw. deskriptiver Modelle des Entscheidungsverhaltens dargestellt und auf ihre Bedeutung für die Erklärung von Planungsprozessen untersucht.

2.1. *Normative Modelle des Entscheidungsverhaltens*

Normative Modelle des Entscheidungsverhaltens streben eine axiomatisch begründete Normierung des Entscheidungsverhaltens an. Ihr normativer Charak-

---

1 Ob zukünftige Handlungsweisen definitiv (endgültig) oder bedingt, d.h. abhängig vom Eintritt bestimmter Umweltereignisse, zu fixieren sind, ist Gegenstand eines weiteren Kapitels dieser Arbeit.

2 Gäfgen, G., a.a.O., S. 1.

3 In der Literatur finden sich teilweise die Begriffe normative bzw. deskriptive Entscheidungstheorie. Vgl. z.B. Budäus, D., Entscheidungsprozeß und Mitbestimmung, Wiesbaden 1975, S. 13. Zwischen Modell und Theorie sollte jedoch unterschieden werden. Modelle sind Abbilder einer subjektiv wahrgenommenen Realität. Theorien dagegen Systeme von Aussagen über Realität. Inwieweit "normative bzw. deskriptive Theorien" des Entscheidungsverhaltens tatsächlich Theorien im obigen Sinne sind, ist an ihrer explikativen und prognostischen Wirksamkeit empirisch zu überprüfen. Insbesondere die prognostische Fähigkeit der normativen Entscheidungstheorie wird stark bezweifelt.

ter folgt aus der Einführung von Imperativsätzen, die dem Entscheidungsträger vorschreiben, wie er sich in einer konkreten Entscheidungssituation verhalten soll[1]. Imperativsätze sind zu unterscheiden von Indikativsätzen, die Aussagen über Sachverhalte enthalten und folglich im Sinne der Aussagenlogik "wahr" bzw. "falsch" sein können[2]. Imperativsätze können nicht aussagenlogisch überprüft werden; ihre Begründung besteht in einem Werturteil, wonach es "gut" sei, gemäß den Axiomen einer Entscheidungslogik "zulässige" von "unzulässigen" Handlungsweisen zu unterscheiden. Normierendes Grundmaß zulässiger Handlungsweisen ist eine axiomatisch begründete Definition von Rationalität[3], die durch teilweise divergierende Axiomensysteme festgelegt wird[4]. Die Gemeinsamkeit der im Rahmen der Entscheidungslogik entwickelten Axiomensysteme besteht in der Annahme einer strukturell gleichartigen Entscheidungssituation[5].

Strukturbestimmende Merkmale dieser Entscheidungssituation sind gegebene Ziele, Handlungsalternativen, Umweltsituationen und Handlungsergebnisse sowie eine Ordnungsfunktion auf der Menge der Handlungsergebnisse[6]. Die Ermittlung der optimalen Handlungsweise, d.h. der Handlungsweise mit dem höchsten Zielerreichungsgrad, aus der Menge möglicher Handlungsweisen folgt allein den Regeln der Entscheidungslogik. Der Entscheidungsträger tritt bei der Entscheidungsfindung in den Hintergrund[7]. Entscheiden im Sinne normativer Modelle des Entscheidungsverhaltens bedeutet nur das Wählen einer aus mindestens zwei Handlungsmöglichkeiten.

Dieser Entscheidungsbegriff abstrahiert von den Problemen der Ermittlung von Handlungsalternativen, der Informationsbeschaffung und der Prognose von Handlungsergebnissen. Für die Analyse des Planungsprozesses ergibt sich da-

---

1 Vgl. Kirsch, W., Gewinn und Rentabilität, Wiesbaden 1968, S. 93.

2 Vgl. Klaus, G. und Buhr, M. (Hrsg.), Philosophisches Wörterbuch, Bd. 2, 8. Aufl., Berlin 1972, S. 794.

3 Vgl. Menges, G., Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen, 2. Aufl., Düsseldorf 1974, S. 81.

4 Vgl. Kupsch, P.U., Das Risiko im Entscheidungsprozeß, Wiesbaden 1973, S. 69 f. sowie die dort angegebene Literatur.

5 Vgl. ebenda.

6 Vgl. ebenda.

7 Vgl. Dinkelbach, W., Sensitivitätsanalysen und parametrische Programmierung, Berlin-Heidelberg-New York 1969, S. 8.

mit, daß Planung nicht gleichbedeutend mit der formal-logischen Ableitung der optimalen Handlungsweise sein kann, da die oben angeführten Merkmale der Entscheidungssituation für den Planungsprozeß nicht zutreffen. Planung ist daher stets umfassender. Damit ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß in bestimmten Planungsstadien Situationen erreicht werden können, die den oben angeführten Merkmalen einer Entscheidungssituation entsprechen.

Die Bedeutung normativer Modelle des Entscheidungsverhaltens für die Analyse und Gestaltung von Planungsprozessen ist damit vorläufig festgelegt. Ihre Anwendung ist stets dann möglich, wenn im Planungsprozeß Situationen erreicht werden, die die Merkmale einer Entscheidungssituation aufweisen.

Das Erreichen von Entscheidungssituationen im Ablauf des Planungsprozesses ist jedoch nur eine notwendige Bedingung für die Anwendung normativer Modelle des Entscheidungsverhaltens. Eine weitere notwendige Bedingung ist die prognostische Relevanz der zugrundegelegten Entscheidungslogik, d.h. es ist zu überprüfen, ob und in welchem Umfang sich tatsächliches Verhalten in Entscheidungssituationen mit dem geforderten Verhalten deckt[1].

Normative Modelle des Entscheidungsverhaltens können a priori nichts über ihre prognostische Relevanz aussagen, da ihnen Imperativsätze zugrundeliegen, die definitionsgemäß keine Aussagen über tatsächliches Verhalten sind, sondern Empfehlungen, wie das Entscheidungsverhalten sein sollte. Die prognostische Relevanz ist daher nur am tatsächlichen Verhalten in Entscheidungssituationen zu überprüfen, d.h. an dem Ausmaß der Übereinstimmung geforderten und tatsächlichen Verhaltens. Die Feststellung divergierenden Verhaltens reicht allerdings nicht aus, normative Modelle des Entscheidungsverhaltens abzulehnen. Zu überprüfen ist vielmehr, ob Individuen bei entsprechender Aufklärung bereit und in der Lage sind, Entscheidungen zu treffen, die den Anforderungen der zugrundegelegten Entscheidungslogik ge-

---

1 Die Notwendigkeit einer Überprüfung der prognostischen Relevanz wird teilweise mit dem Argument bestritten, daß es nicht Aufgabe einer Entscheidungstheorie sei, tatsächliches Verhalten zu erklären, sondern praktische Entscheidungen zu verbessern. Vgl. z.B. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 119. Mit dieser Argumentation entzieht man allerdings die Axiome des Rationalverhaltens, die ja festlegen, ob eine Entscheidung rational ist, der Diskussion. Axiome haben jedoch keinen Evidenzcharakter, sondern sind zumindest im sozialwissenschaftlichen Bereich auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen. Die Plausibilität der Axiome ist zu bezweifeln, wenn Folgerungen der Axiome nicht plausibel sind, d.h. Entscheidungen gefällt werden, die begründet gegen diese Axiome verstoßen.

nügen[1]. Werden trotz erfolgter Aufklärung Entscheidungen getroffen, die begründbar gegen das geforderte Verhalten verstoßen, so ist der prognostische Wert normativer Modelle des Entscheidungsverhaltens zu bezweifeln. Ihr Wert für die Unterstützung von Planungsprozessen bleibt dann gering.

2.2. *Deskriptive Modelle des Entscheidungsverhaltens*

Im Gegensatz zu normativen Modellen des Entscheidungsverhaltens, die eine axiomatisch begründete Normierung des Entscheidungsverhaltens anstreben, versuchen deskriptive Modelle das tatsächliche Entscheidungsverhalten zu erfassen. Abgesehen von diesem unterschiedlichen Erkenntnisziel unterscheiden sich deskriptive von normativen Modellen durch einen verschieden weit gefaßten Entscheidungsbegriff, die zugrundegelegte Entscheidungssituation sowie die zur Auswahl einer Handlungsalternative anzuwendende Entscheidungsregel.

Der Begriff der Entscheidung im Rahmen deskriptiver Modelle orientiert sich an dem in der Psychologie entwickelten Modell des Problemlösungsprozesses. Problemlösungsprozesse setzen dann ein, wenn ein Individuum einer Situation gegenübersteht, auf die es nicht gewohnheitsmäßig reagieren kann[2], weil keine Verhaltensmuster zur Bewältigung dieser Situation vorhanden sind. Unter der Voraussetzung, daß das Problem für lösbar gehalten wird, reagiert das Individuum mit der Entfaltung problemlösender Aktivitäten.

Vorstellungen über die Struktur des Problemlösungsprozesses finden sich in sogenannten Phasenschemata. Brim et al. z.B. nennen folgende Phasen[3]:

---

1 Vgl. Drukarczyk, J., Probleme individueller Entscheidungsrechnung, Wiesbaden 1975, S. 118. Eine Untersuchung der Axiome des Rationalverhaltens hinsichtlich ihrer prognostischen Relevanz erfolgt im Kapitel B 3.6.1.

2 Der Unterscheidung zwischen gewohnheitsmäßigem und problemlösendem Verhalten entspricht die in der Betriebswirtschaftslehre übliche Trennung zwischen Routineentscheidungen und echten Entscheidungen. Vgl. z.B. Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung, Wiesbaden 1966, S. 19 f.; Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd. 1, a.a.O., S. 65 f. sowie die dort angegebene Literatur.

3 Vgl. Brim, O.G., Glass, B.C., Lavine, D.E. und Goodman, N., Personality and Decision Process. Studies in the Social Psychology of Thinking, Stanford Cal. 1962, S. 12.

1. Problemerkenntnis
2. Sammeln von Informationen
3. Erarbeitung von Handlungsalternativen
4. Bewertung der Handlungsalternativen
5. Auswahl einer Handlungsalternative
6. Durchführung der gewählten Handlungsalternative.

Die Struktur eines Problemlösungsprozesses wird von deskriptiven Modellen des Entscheidungsprozesses übernommen. Entscheiden im Sinne deskriptiver Modelle schließt die Sammlung von Informationen, die Entwicklung und Bewertung von Handlungsalternativen, sowie die Entscheidung für eine Alternative ein. Der verwendete Entscheidungsbegriff ist damit umfassender. Zwecks inhaltlicher Abgrenzung soll die Wahl einer Handlungsweise aus mehreren möglichen als Entscheidung, die schrittweise Lösung eines Problems als Entscheidungsprozeß bezeichnet werden[1].

Phasenschemata zeigen die Grobstruktur eines Problemlösungs- bzw. Entscheidungsprozesses auf. Die Abgrenzung einzelner Phasen liefert gedankliche Referenzpunkte zur Überprüfung des Fortschritts im Entscheidungsprozeß, hat jedoch nur formal-logischen Charakter[2]. Wittes[3] Interpretation des Phasenschemas als zeitlich-starres Ablaufschema oder als Norm effizienten Entscheidungsverhaltens ist deshalb nicht möglich; sie war ursprünglich auch nicht beabsichtigt[4]. Im zeitlichen Ablauf können durchaus einzelne Phasen übersprungen werden, ebenso sind situations- und problemgebundene Rück- und Verkopplungsbeziehungen zwischen ihnen denkbar[5]. Eine isolierte Betrachtung einzelner Teilphasen zeigt weiter, daß sich diese wiederum als Problem im Sinne des übergeordneten Problems darstellen und deren Lösungsprozeß formal die gleiche Struktur aufweist[6]. Entscheidungsprozesse bilden somit eine

1 Vgl. Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd. 1, a.a.O., S. 72. "Die Termini "Entscheidungsprozeß" und "Problemlösungsprozeß" sind zu einem gewissen Grade austauschbar".

2 Vgl. Ulrich, H., Die Unternehmung als produktives, soziales System, Stuttgart und Bern 1968, S. 204.

3 Vgl. Witte, E., Phasen-Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe. In: ZfbF, 20. Jg. (1968), S. 625 ff., insbesondere S. 628 und 642.

4 Heinen betont ausdrücklich den sachlogischen Zweck einer Phasengliederung. Vgl. Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung, a.a.O., S. 20.

5 Vgl. Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 38.

6 Vgl. Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 38. Wild bezeichnet Phasenschemata als Makrostrukturen, wobei einzelne Phasen in Teilprozesse zerlegbar sind (Mikrostrukturen), die formal den gleichen Aufbau

komplexe Hierarchie einzelner Teilentscheidungsprozesse, die mit den Mitteln eines Phasenschemas nicht zu beschreiben ist. Trotzdem liefern Phasenmodelle einen Orientierungsrahmen für die Entwicklung von Planungsmodellen, da die einzelnen Phasen logisch zu unterscheiden sind und jeder Problemlösungsprozeß diese Phasen, wenn auch mit unterschiedlicher Intensität und in nicht allgemein festgelegter Reihenfolge, aufweist.

Verbunden mit der Erweiterung des Entscheidungsbegriffs zum Problemlösungs- bzw. Entscheidungsprozeß ist die unterschiedliche Auffassung der Entscheidungssituation im Rahmen normativer und deskriptiver Modelle des Entscheidungsverhaltens. Unterschiede ergeben sich aus den Annahmen über den Informationsstand des Entscheidungsträgers, da in deskriptiven Modellen des Entscheidungsverhaltens Handlungsalternativen, zukünftige Umweltzustände sowie Handlungsergebnisse im Gegensatz zu normativen Modellen des Entscheidungsverhaltens nicht a priori gegeben sind, sondern erst im Laufe des Entscheidungsprozesses erarbeitet werden. Die Einbeziehung dieser Aktivitäten führt zur Berücksichtigung der begrenzten Informationsverarbeitungskapazität des Entscheidungsträgers im Rahmen deskriptiver Modelle des Entscheidungsverhaltens[1]. Da weiter zur Informationsgewinnung nicht unbegrenzt Zeit und Mittel zur Verfügung stehen, ist der Entscheidungsträger im Entscheidungszeitpunkt nur unvollständig informiert - seine Entscheidung subjektiven und objektiven Beschränkungen ausgesetzt. Grundlage seiner Entscheidung kann daher nur eine subjektiv bestimmte Rationalität sein, die an die Stelle der objektiven Rationalität tritt[2].

Die Annahmen der beschränkten Rationalität werden im Rahmen deskriptiver Modelle des Entscheidungsverhaltens durch eine vereinfachte Entscheidungsregel berücksichtigt. Im Gegensatz zu normativen Modellen wird auf eine vollständige Ordnung der Handlungsalternativen verzichtet. Das Ziel der Maximierung einer Zielgröße ersetzt Simon durch das Ziel der Ermittlung einer befriedigenden Handlungsalternative. Als Begründung dienen die Be-

---

wie die Makrostrukturen aufweisen. Heinen bezeichnet die Teilphasen als "Entscheidungsprozesse en miniature". Vgl. Heinen, E., Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1968, S. 20.

1 Vgl. Simon, H.A., Models of Man, New York, London und Sydney 1957, S. 198.

2 Der Unterscheidung zwischen subjektiver und objektiver Rationalität liegen die unterschiedlichen Annahmen über den Informationsstand des Entscheidungsträgers zugrunde.

grenzungen der kognitiven Fähigkeiten des Entscheidungsträgers[1]. An die Stelle der Präferenzfunktion tritt das Anspruchsniveau[2]. Die Menge der Handlungsalternativen $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ wird durch die Vorgabe eines Anspruchsniveaus AS in zwei Teilmengen $X_1 = \{x_1, x_2, \ldots, x_m\}$ und $X_2 = \{x_{m+1}, \ldots, x_n\}$ aufgespalten. Die Menge X_1 enthält die unbefriedigenden, die Menge X_2 die befriedigenden Handlungsalternativen. Bezeichnet man die Menge der den Handlungsalternativen zugeordneten Zielerreichungsgrade mit $V = \{v_1, v_2, \ldots, v_n\}$, so gilt für die Menge X_1 [3]:

$$X_1 = \{x_i \mid v_i < AS;\ i = 1, \ldots, m\}.$$

Entsprechend gilt für die Menge X_2:

$$X_2 = \{x_i \mid v_i \geq AS;\ i = m+1, \ldots, n\}.$$

Das Problem der Auswahl einer Handlungsalternative verlagert sich zunächst auf die Bestimmung des Anspruchsniveaus[4]. Ein weiteres Problem besteht in der Anpassung des Anspruchsniveaus im Zeitablauf[5]. Ist innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit und mit vertretbarem Aufwand keine Handlungsalternative zu ermitteln, die dem Anspruchsniveau genügt, die Menge X_2 also leer, so kann entweder das Anspruchsniveau schrittweise gesenkt oder die Suche nach Alternativen fortgesetzt werden, bis eine Alternative dem Anspruchsniveau genügt[6]. Dagegen wird das Anspruchsniveau erhöht, wenn der

---

1 Zu den Beschränkungen der Rationalität vgl. z.B. Simon, H.A., Administrative Behavior, 2. Aufl., New York 1957, S. 79 ff.; March, J.G. and Simon, H.A., Organizations, New York und London 1958, S. 136 ff.

2 Vgl. Simon, H.A., Models of Man, a.a.O., S. 246. Der Begriff des Anspruchsniveaus (level of aspiration) entstammt der Psychologie. Vgl. Lewin, K., Dembo, T., Festinger, L. und Sears, P.S., Level of Aspiration. In: Personality and the Behavior of Disorders, Hrsg. J.M. Hunt, New York 1944, S. 333 ff. sowie Sauermann, H. und Selten, R., Anspruchsanpassungstheorie der Unternehmung. In: ZfdgS (1962), S. 577 ff.

3 Werden dem Auswahlprozeß L Ziele zugrundegelegt, d.h. ist jeder Alternative x_i ein Vektor $v_i = (v_{i1}, \ldots, v_{iL})$ zugeordnet, ist die Regel entsprechend umzuformulieren.

4 Zu den Bestimmungsgründen des Anspruchsniveaus vgl. Child, T.L. und Whiting, J.W., Determinants of Level of Aspiration: Evidence of Everyday Life. In: The Study of Personality, Hrsg. H. Brand, New York 1954, S. 495 ff.

5 Die Anspruchsniveauanpassung muß nicht unbedingt innerhalb eines Entscheidungsprozesses stattfinden.

6 Vgl. Simon, H.A., Models of Man, a.a.O., S. 253 f.

Zielerreichungsgrad mehrerer Alternativen das Anspruchsniveau übersteigt[1]. Die Anspruchsniveauanpassung führt damit in jeder Situation zu einer eindeutigen Entscheidung.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich, daß deskriptive Modelle des Entscheidungsverhaltens prinzipiell eine höhere prognostische Relevanz aufweisen als normative Modelle, da sie auf brauchbare Annahmen zurückgreifen, die tatsächlichem Entscheidungsverhalten zugrundeliegen. Die sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen für die Entwicklung von Planungsmodellen sind Gegenstand des folgenden Kapitels.

2.3. *Schlußfolgerungen für Modelle des Planungsprozesses*

Ziel dieses Kapitels ist die Untersuchung der Frage, in welchem Umfang normative bzw. deskriptive Modelle des Entscheidungsverhaltens eine brauchbare Grundlage zur Erklärung von Planungsprozessen sein können. Dazu ist zunächst die Beziehung zwischen normativen und deskriptiven Modellen des Entscheidungsverhaltens zu klären, die sich aus dem Vergleich der jeweils zugrundegelegten Entscheidungssituation ergibt. Aus der Sicht des Entscheidungsprozesses umfassen normative Modelle lediglich die Stufe der Alternativenauswahl, wobei alle informationsgewinnenden Aktivitäten als abgeschlossen betrachtet werden. Für diese Situation werden Regeln zur Ermittlung der optimalen Alternative angegeben. Gegen eine Verwendung der Regeln normativer Entscheidungslogik ist zunächst nichts einzuwenden. Zu prüfen ist jedoch, ob die zugrundegelegten Axiome des Rationalverhaltens situationsadäquat sind und tatsächliches Entscheidungsverhalten erklären können. Der Gegensatz zwischen normativen und deskriptiven Modellen des Entscheidungsprozesses reduziert sich auf dieser Stufe des Entscheidungsprozesses auf das Problem der Wahl einer situations- und problemadäquaten Entscheidungsregel. Die Beantwortung dieser Frage löst damit gleichzeitig das Problem der anzuwendenden Entscheidungsregel in den Situationen, in denen im Planungsprozeß Entscheidungen zu treffen sind. Wegen der Annahmen über den Informationsstand ist die Übertragung normativer Modelle des Entscheidungs-

---

1 Darstellungen der Anspruchsniveauanpassung finden sich bei Sauermann, H. und Selten, R., a.a.O., S. 583 ff.; Alexis, M. und Wilson, C.Z., Organizational Decision Making, Englewood Cliffs, N.J. 1967, S. 160; Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd. I, a.a.O., S. 117; Budäus, D., a.a.O., S. 29.

verhaltens nur auf Wahlsituationen im Planungsprozeß möglich. Eine geeignete Grundlage zur Erklärung des gesamten Planungsprozesses bilden sie nicht.

Dieses Ergebnis wird durch den Vergleich der Planungssituation mit der Entscheidungssituation im Rahmen deskriptiver Modelle sowie den Vergleich von Phasenschemata des Entscheidungsprozesses mit denen des Planungsprozesses gestützt. Die langfristiger Planung zugrundeliegende Planungssituation weist weitgehend die gleichen Merkmale wie die Entscheidungssituation des Entscheidungsprozesses auf. Probleme, die im Rahmen langfristiger Planung auftreten, können nicht durch Rückgriff auf standardisierte Verhaltensnormen und programmierte Entscheidungsregeln gelöst werden, sondern erfordern einen schrittweisen Prozeß der Alternativengenerierung und -bewertung bis zur Problemlösung durch die Entscheidung für eine Handlungsalternative. Darstellungen finden sich in Phasenschemata zum Planungsprozeß[1].

In ihren Grundzügen sind alle Phasenschemata zum Planungsprozeß ähnlich aufgebaut. Wesentliche Unterschiede bestehen in zwei Fragen. Zum einen wird die abschließende Wahl einer Handlungsalternative mit dem Hinweis auf die in der Praxis übliche Trennung zwischen Entscheidungsvorbereitung (Planung) und abschließender Entscheidung teilweise nicht dem Planungsprozeß zugerechnet[2]. Zum anderen wird teilweise die Plandurchsetzung, -realisation und -kontrolle dem Planungsprozeß hinzugefügt[3].

Ob die abschließende Entscheidung zum Planungsprozeß gehört oder nicht ist ein definitorisches Problem. Im Rahmen dieser Arbeit soll der Planungsprozeß die Entscheidung einschließen. Die Einbeziehung von Plandurchsetzung, -realisation und -kontrolle ist ein Problem der Wiederholung von Planungsprozessen im Zeitablauf. Betrachtet man die Wiederholung mehrerer Planungsprozesse, so liegen bei Vernachlässigung einer möglichen Überlappung zwi-

---

1 Vgl. Kosiol, E., a.a.O., S. 389 ff.; Aghte, K., a.a.O., S. 20; Bendixen, P. und Kemmler, H.W., Planung - Organisation und Methodik innovativer Entscheidungsprozesse, Berlin und New York 1972, S. 117 ff.; Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 39; Hahn, D., Planungs- und Kontrollrechnung - PuK - Integrierte ergebnis- und liquiditätsorientierte Planungs- und Kontrollrechnung als Führungsinstrument in Industrieunternehmungen mit Massen- und Serienfertigung, Wiesbaden 1974, S. 28; Weisser, J., Planung: Zur Klärung wichtiger Begriffe. In: Unternehmungsplanung, Reader + Abstracts, Hrsg. J. Wild, Hamburg 1975, S. 33; Macharzina, K., a.a.O., S. 31.

2 Vgl. Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 39.

3 Vgl. Kosiol, E., a.a.O., S. 389 f.

schen Planverabschiedung in einem Zeitpunkt t und Beginn des neuen Planungsprozesses in t'>t die Phasen Durchsetzung, Realisation und Kontrolle. Unter dieser Betrachtungsweise können die angeführten Phasen der Abfolge von Planungsprozessen hinzugerechnet werden[1]. Für die Analyse eines isolierten Planungsprozesses erscheint diese Vorgehensweise nicht zweckmäßig, da der Problemkreis der Planung hierdurch unnötig erweitert wird.

Wesentlich erscheint an dieser Stelle die weitgehende Übereinstimmung von Planungs-, Entscheidungs- und Problemlösungsprozeß. Der Rückgriff auf die oben aufgeführten Merkmale des Planungsprozesses zeigt, daß deskriptive Modelle des Entscheidungsverhaltens eine geeignete Grundlage für die Erklärung des Planungsprozesses sind. Für die Entwicklung von Planungsmodellen folgt daraus, daß die informationsgewinnenden Aktivitäten zu berücksichtigen sind. Die objektiven und subjektiven Begrenzungen bei der Datengewinnung bestimmen demnach die Datenbasis eines Modells. Diesen Begrenzungen muß bei der Modellentwicklung Rechnung getragen werden, wenn die Übereinstimmung von Problemsituation und Modell als Norm für die Modellentwicklung akzeptiert wird[2]. Für die Gestaltung der Beziehungen zwischen Modell und Planungsträger können weiter die Forschungsergebnisse der Psychologie bezüglich des Problemlösungsprozesses und der Annahmen über die kognitiven Fähigkeiten des Planungsträgers als Ausgangshypothesen für die Modellentwicklung herangezogen werden. Die Anpassung des Modells an die kognitiven Fähigkeiten des Planungsträgers bildet damit eine weitere Norm für die Entwicklung von Planungsmodellen[3].

Im folgenden wird eine weitgehende Identität von Planungs- und Entscheidungs- bzw. Problemlösungsprozeß vorausgesetzt. Zur inhaltlichen Präzisierung des Planungsprozesses wird von einer idealtypischen Phasenstruktur ausgegangen, die als wesentliche Elemente

---

1 Vgl. Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 46 f. Wild kennzeichnet den Zusammenhang hintereinander geschalteter Planungsprozesse als Planungsspirale.

2 Vgl. dazu Wagner, H., Zum Problem der Zielfunktion in einer operationalen Theorie der betrieblichen Kapitaldisposition, unveröffentlichte Habilitationsschrift, Münster 1969, S. 12 ff. und Heinen, E., Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre. In: Industriebetriebslehre, Entscheidungen im Industriebetrieb, Wiesbaden 1972, S. 54 ff. Die Norm der Übereinstimmung von Problemstruktur und Entscheidungsmodell ist in der Zuordnung von offenen (geschlossenen) Modellen des Entscheidungsverhaltens und schlecht- (wohl-)strukturierten Problemen implizit enthalten.

3 Vgl. Wagner, H., a.a.O., S. 24.

- Problemerkenntnis
- Zielbildung
- Ermittlung alternativer zukünftiger Umweltzustände
- Entwicklung von Handlungsalternativen
- Ermittlung und Bewertung der Handlungsfolgen und
- Wahl einer zielentsprechenden Alternative

umfaßt.

Diese Phasenstruktur stellt aus der Sicht tatsächlich ablaufender Planungsprozesse eine starke Vereinfachung dar[1] und soll daher nur als Orientierungsrahmen verstanden werden. Tatsächlich bestehen zwischen den einzelnen Phasen vielfältige Rückkopplungsbeziehungen, deren Einbeziehung jedoch eine konkrete Beschreibung von Situationen erforderte, die diese Rückkopplungsbeziehungen auslösen.

3. *Problemstrukturierung und Problemlösung im Rahmen modellgestützter Unternehmungsplanung*

Im folgenden werden die einzelnen Aktivitäten eines Planungsprozesses auf der Grundlage der Ausführungen zum Problemlösungsprozeß konkretisiert. Ziel ist die allgemeine Formulierung eines mehrstufigen Planungsproblems und die Darstellung der zur Lösung dieses Problems einzusetzenden Methoden. Zunächst sind zweckmäßigerweise einige Überlegungen über die Entstehung von Planungssituationen anzustellen.

3.1. *Die Planungssituation als Ausgangspunkt der Problemstrukturierung und Problemlösung*

Grundlage für die Auslösung von Planungsprozessen ist offensichtlich die Problemerkenntnis, d.h. eine Situation, die nicht durch vorhandene Verhaltensmuster bewältigt werden kann. Situationen, die eine routinisierte Verhaltensreaktion zulassen, zählen demnach nicht zu den Planungssituationen. Die Problemerkenntnis setzt die Existenz eines Rahmens voraus, der die Unterscheidung von problemlosen und problemhaften Situationen ermöglicht.

---

1 Zur Problematik und Bedeutung derartiger Phasenmodelle vgl. S. 11 f. dieser Arbeit.

Dieser Bezugsrahmen ist dadurch gegeben, daß sich die Problemerkenntnis auf bestimmte, vom Planungsträger akzeptierte Prämissen stützt, die überhaupt erst das Erkennen von Problemen ermöglichen. Diese Prämissen sind allgemein durch Informationen über Werte, Bedürfnisse, Präferenzen und die Umwelt gegeben[1]. Im Zeitpunkt der Problemerkenntnis bilden sie eine vom Planungsträger akzeptierte Informationsstruktur, die jedoch im Verlauf des Problemlösungsprozesses modifiziert werden kann. Das System akzeptierter Planungsprämissen wird im Rahmen erfahrungswissenschaftlicher Theorien als inneres Modell des Planungs- bzw. Entscheidungsträgers bezeichnet[2]. Probleme bzw. Problemsituationen entstehen nun durch einen Widerspruch zwischen dem inneren Modell des Planungsträgers und einem Ereignis, das wegen der antizipierenden Funktion der Planung auch in der Zukunft liegen kann. Ist z.B. abzusehen, daß ein Produkt die Sättigungsmarke erreicht und in die Degenerationsphase übergeht, so entsteht ein Planungsproblem, wenn die Beibehaltung eines bestimmten Marktanteils als Planungsprämisse akzeptiert bzw. vorgegeben ist und der Widerspruch zwischen innerem Umweltmodell und diesem prognostizierten Ereignis nicht durch Rückgriff auf vorhandene Verhaltensmuster beseitigt werden kann. Das Planungsproblem besteht dann darin, das Absinken des Marktanteils unter ein bestimmtes Niveau zu verhindern. Im Zeitpunkt der Problemerkenntnis ist das Planungsproblem in dieser Form gegeben, seine Strukturierung Aufgabe des ausgelösten Planungsprozesses.

Die Beseitigung von Widersprüchen zwischen dem inneren Modell des Planungsträgers und dem die Planungssituation auslösenden Stimulus führt zu einer Revision des inneren Modells durch Rückgriff auf das Problemlösungspotential des Planungsträgers. Hierunter sind, da routinisierte Reaktionsprogramme ausgeschlossen sind, nicht problemspezifische Lösungsprogramme zu verstehen, sondern allgemeine Problemlösungsprogramme und Methoden der Problemstrukturierung, das durch Berufserfahrung und Ausbildung gewonnene

---

1 Vgl. Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd. 1, a.a.O., S. 25 f. Kirsch unterscheidet wertende und faktische Entscheidungsprämissen. Entscheidungsprämissen bilden einen Bezugsrahmen für das Erkennen von Problemen. Sie werden vom Entscheidungsträger selbst erarbeitet oder ihm von seiner Umwelt vorgegeben (z.B. Zielvorgabe). Wertprämissen kennzeichnen einen angestrebten Zustand, faktische Prämissen einen subjektiv wahrgenommenen Ausschnitt der Realität. Vgl. Hill, W., Fehlbaum, R. und Ulrich, P., Organisationslehre, Bd. 1, Bern und Stuttgart 1974, S. 64.

2 Vgl. Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd. 2, Informationsverarbeitungstheorie des Entscheidungsverhaltens, Wiesbaden 1971, S. 139.

Wissen sowie die Bereitschaft, problemauslösende Stimuli zu verarbeiten[1]. Die Höhe des Problemlösungspotentials eines Planungsträgers bestimmt maßgeblich die Qualität der erzielbaren Problemlösung, wobei die Ansprüche an das Problemlösungspotential von den Problemanforderungen abhängen[2].

Die bestimmenden Merkmale einer Planungssituation sind somit das innere Modell des Planungsträgers, sein Problemlösungspotential sowie die aus den Problemanforderungen sich ergebenden Ansprüche an das Problemlösungspotential. Das innere Modell des Planungsträgers und die Wahrnehmung der Problemanforderungen sind subjektiv bestimmt und ergeben zusammengefaßt ein kognitives Modell der Planungssituation[3], das den Problemzustand in einer ersten Form erfaßt. Durch den Rückgriff auf das Problemlösungspotential erfolgt eine schrittweise Modifizierung des kognitiven Modells bzw. eine sukzessive Veränderung des Problemzustands in Richtung auf eine abschließende Problemlösung.

3.2. *Operationalisierung eines Problems durch Operationalisierung der Planungsziele und Beschränkung der sachlichen und zeitlichen Ausdehnung des Problemfeldes*

Im Zeitpunkt der Problemerkenntnis liegen Probleme in der vorläufigen Formulierung im allgemeinen nicht in operationaler Form vor[4]. Enthält z.B. die Problemformulierung die Aussage, daß Gewinne zu erzielen sind, so liegt kein operational formuliertes Problem vor[5], solange der Definitionsbestandteil "Gewinnerzielung" nicht ergänzt ist. Der Anspruch auf Lösbarkeit des Problems ist erst durch Operationalisierung zu erfüllen. Dies erfolgt durch Operationalisierung der Planungsziele und sachliche und zeitliche Begrenzung des Problemfeldes.

---

1 Vgl. Hill, W., Fehlbaum, R. und Ulrich, P., a.a.O., S. 353 ff.

2 Vgl. ebenda, S. 325 ff.

3 Vgl. Kupsch, P.U., a.a.O., S. 240.

4 Zur Umwandlung von nicht-lösbaren Problemen in lösbare vgl. Luhmann, N., Zweckbegriff und Systemrationalität, Tübingen 1968, S. 215.

5 Den Aussagen zum Ablauf des Problemlösungsprozesses lagen immer operational definierte Probleme zugrunde. Vgl. hierzu Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd. 2, a.a.O., S. 148.

Ziele stellen erwünschte zukünftige Zustände dar[1]. Damit von einem operationalen Ziel gesprochen werden kann, sind Anforderungen an die Fixierung des Inhalts, des zeitlichen Bezugs und des angestrebten Ausmaßes zu stellen[2]. Der Zeitbezug eines Zieles und die zeitliche Abgrenzung des Problemfeldes und ebenso der Zielinhalt und die sachliche Abgrenzung des Problemfeldes bedingen einander und können streng genommen nicht getrennt behandelt werden. Eine getrennte Behandlung ist jedoch zur Hervorhebung der jeweiligen Einzelprobleme zweckmäßig.

Bezüglich des Zielinhalts ist Operationalität dann erfüllt, wenn die Zielerreichung kontrolliert und gemessen werden kann[3]. Weiter soll ein Ziel nur dann operational genannt werden, wenn der Grad der Zielerreichung durch den Planungsträger zu beeinflussen ist und denkbar ist, daß das Ziel in der Realität auch tatsächlich verfolgt wird[4]. Die im Rahmen langfristiger Planung zu verfolgenden Ziele ergeben sich aus dem Zielsystem der Unternehmung, das die Menge der insgesamt verfolgten Ziele und die zwischen ihnen bestehenden Ordnungsbeziehungen umfaßt[5].

Beim angestrebten Ausmaß der Zielerreichung unterscheidet man zwischen Extremalzielen und Satisfiszierungszielen. Extremalziele setzen Optimierung voraus und stehen insofern der Operationalisierung im Wege, als die zeitliche Begrenzung des Erfolgskriteriums stets mit einem Verzicht auf Chancen, die über den zeitlichen Horizont hinausreichen, verbunden ist[6]. Dieser Widerspruch kann aufgelöst werden, wenn das Optimierungsprinzip nur in Verbindung mit der abschließenden Alternativenauswahl gesehen wird, die durch einen begrenzten Entscheidungszusammenhang gekennzeichnet ist[7]. Satisfiszierungsverhalten setzt die Formulierung von Anspruchsniveaus für die verfolgten Ziele voraus, die natürlich im Ablauf eines Planungsprozesses im Wege einer Anspruchsniveauanpassung variierbar sind.

---

1 Vgl. Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung, a.a.O., S. 18.

2 Vgl. derselbe, Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, a.a.O., S. 98 ff.

3 Vgl. ebenda, S. 99.

4 Vgl. Wagner, H., a.a.O., S. 12.

5 Vgl. Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung, a.a.O., S. 59 ff.

6 Vgl. Luhmann, N., a.a.O., S. 76.

7 Vgl. ebenda.

Neben der Operationalisierung der im Planungsprozeß verfolgten Ziele ist die Begrenzung der zeitlichen Ausdehnung des Problemfeldes zur Operationalisierung eines Planungsproblems notwendig. Hieraus ergibt sich neben dem Problem der Bestimmung des Planungszeitraums auch das Problem der Unterteilung des Planungszeitraums in Planperioden.

Zunächst wird versucht zu klären, auf welchen Zeitraum sich eine Planung erstrecken muß, um als langfristig zu gelten. Eine Unterscheidung zwischen kurz- und langfristiger Planung durch Angabe einer nach Jahren zu bemessenden Grenze erscheint wenig sinnvoll. In diesem Zusammenhang dürfte nicht die Kalenderzeit, sondern die Veränderung der Struktur des Systems, auf das sich das Planungsproblem bezieht, entscheidend sein. Planung im Rahmen gegebener Strukturen wird deshalb als kurzfristig, Planung von strukturellen Änderungen als langfristig bezeichnet[1]. Diese Unterscheidung knüpft an die in der Volkswirtschaftslehre übliche Trennung von "short-run"- und "long-run"-Analyse an[2]. Die Bestimmung des Planungszeitraums ist also problemabhängig.

Der Planungshorizont für ein gegebenes Problem ist zumindest theoretisch in dem Zeitpunkt zu sehen, in dem die Abhängigkeit der dann zu treffenden Entscheidungen von im Planungszeitpunkt zu fällenden Entscheidungen gerade noch gegeben ist[3]. Die Bestimmung des Planungshorizontes entsprechend dieser Forderung kann allerdings nicht als operational angesehen werden[4]. In praktischen Planungsfällen ist pragmatisch vorzugehen. Die Bestimmung des Planungshorizonts richtet sich dann nach den Möglichkeiten der Informationsgewinnung und ist in dem Zeitpunkt zu sehen, bis zu dem eine Voraussage zukünftiger Umweltzustände bzw. die Prognose der Wirkungen geplanter Maßnahmen möglich ist[5].

Ebenso wie die Bestimmung des Planungshorizontes ist die Unterteilung des Planungszeitraums in Basisintervalle vom zu lösenden Problem abhängig. Im

---

1 Vgl. Aghte, K., a.a.O., S. 89.

2 Vgl. Marshall, A., Principles of Economics, 8. Aufl., London 1952, S. 314 ff.

3 Vgl. Albach, H., Investition und Liquidität, Wiesbaden 1962, S. 226 und Bellinger, B., Langfristige Finanzierung, Wiesbaden 1964, S. 57.

4 Vgl. auch die kritische Stellungnahme von Wagner, H., a.a.O., S. 147 ff.

5 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 38; Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 168.

Zusammenhang mit der langfristigen Finanzplanung ist u.a. die Sicherung der Liquidität zur Gewährleistung des Oberlebensziels einer Unternehmung zwingend notwendig. Dies impliziert letztlich eine tagesgenaue Planung, da die Liquidität ständig zu sichern ist. Im Rahmen langfristiger Finanzplanung ist jedoch die Forderung nach tagesgenauer Planung nicht durchsetzbar, da hier nämlich sinnvoll nur aggregierte Größen Verwendung finden können. Daraus folgt, daß die Liquidität einer Unternehmung in einem Modell der langfristigen Finanzplanung nur für einen längeren Zeitraum, z.B. quartalsweise zu bestimmen ist.

Wie die zeitliche Begrenzung ist auch die sachliche Abgrenzung des Problemfeldes problemabhängig. Aufgabe der sachlichen Abgrenzung ist die Erfassung der Variablen und Einflußgrößen, die mit der zielentsprechenden Lösung des Problems in Einklang zu bringen sind[1]. Da zwischen den Funktionsbereichen einer Unternehmung vielfältige Interdependenzen bestehen, die letztlich nur in einem Totalmodell zu erfassen sind, führt die sachliche Abgrenzung des Problemfeldes, die zur Operationalisierung des Planungsproblems notwendig ist, häufig zu einer Vernachlässigung dieser Interdependenzen.

Operationalität der Planungsziele und zeitliche sowie sachliche Begrenzung des Problemfeldes führen zu einer Konkretisierung des Planungsproblems und bestimmen den Rahmen für die folgenden, problemlösenden Aktivitäten.

3.3. *Reduktion der Ungewißheit durch Prognose problemrelevanter Umweltverläufe*

Die Lösung eines operational formulierten Planungsproblems verlangt die Entwicklung von Handlungsalternativen, die sich auf eine noch nicht realisierte Umwelt beziehen, über deren zukünftige Zustände Ungewißheit besteht. Zur Ermittlung einer zielentsprechenden Alternative bedarf es der Reduktion von Ungewißheit durch Prognose der problemrelevanten, alternativ möglichen Umweltverläufe. Zunächst wird nun versucht, die Ungewißheitssituation begrifflich zu fixieren.

---

1 Vgl. z.B. Koch, H., Betriebliche Planung - Grundlagen und Grundfragen der Unternehmungspolitik, Wiesbaden 1961, S. 35 f.

3.3.1. Ungewißheitsgrade zur Kennzeichnung des Informationsstandes

Der Informationsstand in der Planungssituation wird durch unterschiedliche Begriffe gekennzeichnet. Als extreme Informationslagen werden Sicherheit und vollständige Ignoranz unterschieden[1]. Für die dazwischen liegenden Fälle werden Risikosituation und Ungewißheitssituation genannt, wobei letztere in die Fälle subjektiver und objektiver Ungewißheit gegliedert wird[2].

Der Versuch, die Datenbasis eines Planungsprozesses in dieses Begriffsschema zu zwängen, erscheint nun allerdings wenig sinnvoll. Zur Lösung des Planungsproblems ist zunächst die Ausgangssituation zu bestimmen. Die Daten der Ausgangssituation sind im allgemeinen bekannt bzw. können ermittelt werden, da sie den Istzustand des zu planenden Systems kennzeichnen. Über die Ausgangsdaten besteht folglich Sicherheit. Einem Teil der zukunftsorientierten Datenbasis können objektive Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden[3]. Diese Situation entspricht der Risikosituation[4]. Für einen weiteren Teil der zukunftsorientierten Datenbasis ist schließlich die Ungewißheitssituation zutreffend. In diesem Fall muß der Planungsträger in der Lage sein, Urteile über die Glaubwürdigkeit des Eintretens bestimmter Umweltsituationen abzugeben[5]. Die Datenbasis eines Planungsproblems ist nun in vielen Fällen durch eine Mischung der angeführten Informationslagen gekennzeichnet. Die Unterscheidung von Planungssituationen nach einer bestimmten Informationslage ist dann wegen der i.a. vorhandenen Inhomogenität der Datenbasis zwecklos.

---

1 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 70 f.

2 Vgl. hierzu Knight, F.H., Risk, Uncertainty and Profit, 7. Aufl., Boston und New York 1957, S. 197 ff.; Albach, H., Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln und Opladen 1959, S. 4 und 166 ff.; Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 66.

3 Objektive Wahrscheinlichkeiten finden dann Verwendung, wenn eine begründete Vermutung besteht, daß sie auch in der Zukunft gelten. Dies gilt z.B. für Ausfallwahrscheinlichkeiten bei Maschinen, das Zahlungsverhalten der Abnehmer etc.

4 Vgl. Schneeweiß, H., Entscheidungskriterien bei Risiko, Berlin, Heidelberg und New York 1967, S. 27; Streitferdt, L., Grundlagen und Probleme der betriebswirtschaftlichen Risikotheorie, Wiesbaden 1973, S. 9.

5 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 73 ff.

Berücksichtigt man die Inhomogenität der zur Lösung eines Planungsproblems notwendigen Datenmenge, so reicht der Begriff der Ungewißheit bzw. Unsicherheit[1] zur Kennzeichnung des Informationsstandes aus[2]. Der Planungsträger rechnet in dieser Situation mit einer begrenzten Anzahl alternativer Umweltverläufe, deren Ausgangssituation als sicher anzusehen ist. Ungewißheit besteht darüber, welche der alternativen Zukunftslagen tatsächlich eintreten wird. Diese Situation liegt im allgemeinen langfristiger Unternehmungsplanung zugrunde, wobei die notwendigen Wahrscheinlichkeiten entweder subjektiv oder objektiv bestimmt sind. Im folgenden wird zur Darstellung der zu prognostizierenden Umweltverläufe das Konzept des Zustandsbaums beschrieben.

3.3.2. Das Konzept des Zustandsbaumes

Für die durch Unterteilung des Planungszeitraums gewonnenen Zeitpunkte $t=0,1,\ldots,T$ sind nun alternative Umweltzustände zu prognostizieren. Als ein Mittel zur übersichtlichen Darstellung alternativer Umweltverläufe erweist sich die Konstruktion eines Zustandsbaums als zweckmäßig[3]. Angenommen ein Planungsträger besitzt über die Entwicklung alternativer möglicher Absatzmengen in Abhängigkeit vom Konjunkturverlauf die in Tab. 1 aufgeführten Vorstellungen, wobei die Beschränkung auf eine Umweltvariable nur aus Gründen der Übersichtlichkeit erfolgte.

---

1 Beide Begriffe können synonym verwendet werden.

2 Vgl. Schneider, D., Investitions und Finanzierung, a.a.O., S. 70. Schneider unterscheidet auch den Fall der Sicherheit, in dem nur ein Umweltverlauf denkbar ist. Dieser Fall hat jedoch, wie er selbst einräumt, keine praktische Bedeutung.

3 Vgl. Laux, H., a.a.O., S. 21 und Menges, G., a.a.O., S. 16. Menges spricht vom Ereignisbaum.

Periode	Konjunkturverlauf	Absatzmenge	Glaubwürdigkeitsgrad
1	gut	250	0,5
	mäßig	220	0,2
	schlecht	180	0,3
2	gut/gut [1]	300	0,4
	gut/mäßig	250	0,4
	gut/schlecht	220	0,2
	mäßig/gut	240	0,3
	mäßig/mäßig	220	0,4
	mäßig/schlecht	200	0,3
	schlecht/gut	220	0,1
	schlecht/mäßig	180	0,4
	schlecht/schlecht	160	0,5

Tab. 1: Erwartungsstruktur eines Planungsträgers über zukünftige Absatzmengen

Die graphische Darstellung dieser beispielhaften Erwartungsstruktur zeigt der folgende Zustandsbaum (Abb. 1), wobei jedem Knoten des Graphen eine Umweltsituation und jeder Kante des Graphen die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt der jeweiligen Umweltsituation zugeordnet ist.

Die Abbildung 1 zeigt insgesamt 9 verschiedene Umweltverläufe, die mit $U_1, U_2, \ldots, U_9$ bezeichnet sind. Jeder Umweltverlauf besteht aus einer Menge von Ereignissen u_{jt}, die einen Umweltzustand im Zeitpunkt t aus einem Umweltverlauf j bezeichnen[2]. Die Menge aller möglichen Umweltverläufe sei U.

Für einen beliebigen Zustandsbaum gilt im folgenden:

$$U = \{U_1, \ldots, U_j, \ldots, U_N\},$$

$$U_j = \{u_{j0}, \ldots, u_{jt}, \ldots, u_{jT}\},\ j=1,\ldots,N.$$

1 Die Ereignisse in Periode 2 sind als bedingte Ereignisse aufzufassen. Beispielsweise bedeutet die Angabe gut/gut, daß in der Periode 2 ein guter Konjunkturverlauf eintritt, wenn in Periode 1 ebenfalls ein guter Konjunkturverlauf eingetreten ist.

2 Die hier verwendete Nomenklatur führt teilweise zu einer Doppelbenennung von Knoten. Ingesamt wird dadurch im folgenden allerdings eine Vereinfachung der Darstellung der Problemstruktur erreicht. Für den Ausgangszustand (z.B. Lager- oder Auftragsbestand) gilt dementsprechend: $u_{10} = u_{20} = \ldots = u_{90}$.

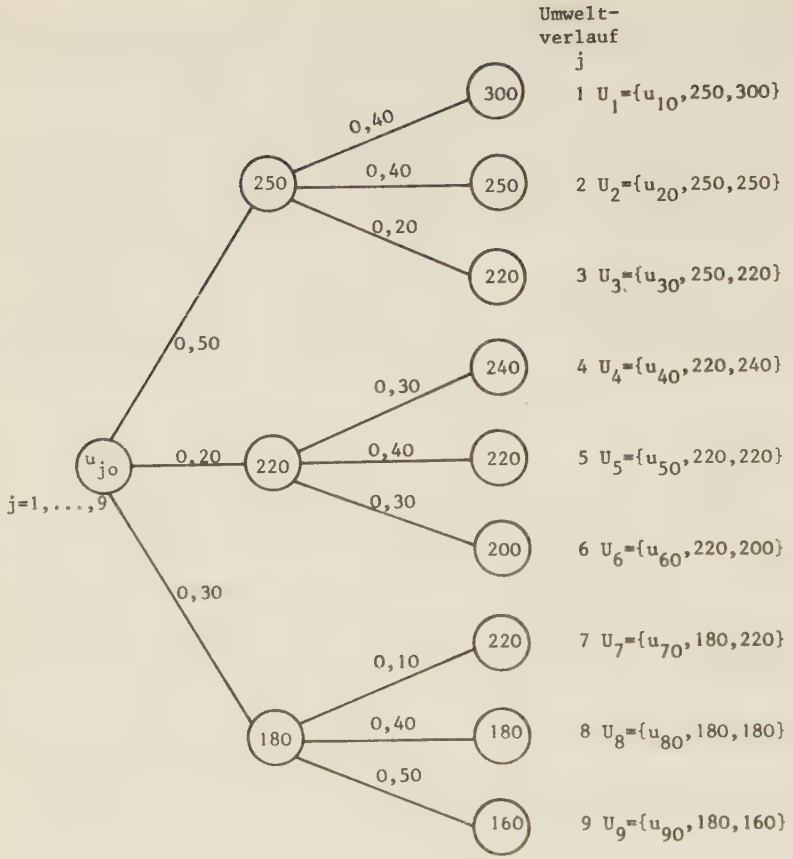


Abb. 1: Darstellung der Erwartungsstruktur über zukünftige Absatzmengen durch einen Zustandsbaum

3.3.3. *Die Bestimmung der den Kanten eines Zustandsbaums zugeordneten Wahrscheinlichkeiten*

Die Ermittlung der den Kanten des Zustandsbaumes zugeordneten Wahrscheinlichkeiten ist neben der Bestimmung alternativer Umweltverläufe eine wesentliche Voraussetzung für die Behandlung von Planungsproblemen, auf die die oben angeführten Voraussetzungen zutreffen. Der Begriff der Wahrscheinlichkeit ist daher zunächst zu präzisieren. Unterschieden werden subjektive und objektive Wahrscheinlichkeiten, wobei der Begriff der subjektiven Wahrscheinlichkeit teilweise abgelehnt und durch den Begriff Glaubwürdigkeit ersetzt wird[1]. Unstrittig ist die axiomatische Definition der Wahrscheinlichkeit, die für beide Begriffe gleichermaßen gilt[2].

Die Axiomatisierung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs sagt nichts über die Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten aus. Unter diesem Gesichtspunkt sind bekanntlich a-priori und a-posteriori-Wahrscheinlichkeiten zu unterscheiden[3]. A-priori-Wahrscheinlichkeiten können ohne Überprüfung realer Verhältnisse ermittelt werden. So ist z.B. unter der Voraussetzung, daß ein idealer Würfel vorliegt, die Wahrscheinlichkeit eine "Eins" zu würfeln aufgrund der Kenntnis, daß ein Würfel sechs Seiten, hat direkt zu bestimmen. A--posteriori-Wahrscheinlichkeiten beziehen sich auf die tatsächliche Realisation von Ereignissen, d.h. die a-posteriori-Wahrscheinlichkeit ergibt sich aus dem Verhältnis der Häufigkeit des Auftretens eines Elementarereignisses zur Gesamthäufigkeit der eingetretenen Ereignisse[4]. A-priori- und a-posteriori-Wahrscheinlichkeiten bilden die Gruppe der objektiven Wahrscheinlichkeiten, wobei die a-priori-Wahrscheinlichkeiten zur Lösung praktischer Planungsprobleme im allgemeinen keine Bedeutung haben[5].

Subjektive Wahrscheinlichkeiten oder Glaubwürdigkeiten genügen der gleichen Axiomatik und den Regeln der Wahrscheinlichkeitstheorie; ihre Ermittlung

---

1 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 73 und Mellwig, W., Anpassungsfähigkeit und Ungewißheitstheorie, Tübingen 1972, S. 26 und S. 36 ff.

2 Vgl. Hax, H., Entscheidungsmodelle in der Unternehmung/Einführung in Operations Research, Hamburg 1974, S. 44. Zur axiomatischen Definition der Wahrscheinlichkeit vgl. Morgenstern, D., Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, Berlin, Heidelberg und New York 1968, S. 4 ff.

3 Vgl. Menges, G., a.a.O., S. 25 f.

4 Diese Definition entspricht der in der Statistik üblichen Definition der relativen Häufigkeiten.

5 Vgl. Hax, H., Entscheidungsmodelle in der Unternehmung, a.a.O., S. 42 und Menges, G., a.a.O., S. 26.

hat jedoch einen grundlegend anderen Charakter. Die Glaubwürdigkeit eines Ereignisses bestimmt sich nach dem Grad des Vertrauens, mit dem ein Planungsträger ein bestimmtes Ereignis erwartet[1]. Entscheidend für die Bestimmung von Glaubwürdigkeiten ist damit der Informationsstand des Planungsträgers, seine Erfahrung und seine Urteilsfähigkeit. Die Transformation von Informationen in Glaubwürdigkeitsgrade ist rein subjektiv bestimmt und auch nicht objektivierbar im Sinne einer intersubjektiven Überprüfung. Allgemeine Regeln für diesen Vorgang sind nicht anzugeben und entsprechende Vorschläge stark personenabhängig[2]. Die Verwendung subjektiver Wahrscheinlichkeiten ist daher teilweise scharf kritisiert worden[3].

Die Frage der Verwendung subjektiver Wahrscheinlichkeiten ist nun bei der Behandlung langfristiger Planungsprobleme nur durch eine Grundsatzentscheidung zu klären. Verzichtet man auf die Bestimmung von Glaubwürdigkeitsgraden, so bedeutet das gleichzeitig den Verzicht auf die Behandlung von Planungsproblemen, die durch Planungssituationen gekennzeichnet sind, in denen keine objektiven Wahrscheinlichkeiten ermittelt werden können[4]. Diese Situation ist jedoch bei der Mehrzahl der Probleme langfristiger Planung wegen der Einmaligkeit der Bedingungskonstellation gegeben[5].

Im folgenden wird davon ausgegangen, daß es möglich ist, Informationen über mögliche Zustände der Umwelt in Glaubwürdigkeitsgrade umzusetzen. Trotz der subjektiven Bedingtheit derartiger Urteile, die auch durch Befragung von Experten nicht objektivierbar ist, besteht der Vorteil darin, daß für die Behandlung langfristiger Planungsprobleme die Erfahrung des Planungsträgers als weitere Informationsquelle zu nutzen ist.

---

1 Vgl. Krelle, W., Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung. In: Preistheorie, Hrsg. A.E. Ott, Köln und Berlin 1965, S. 393.

2 Krelle entwickelte als Hilfsmittel eine Tabelle, die den Zusammenhang zwischen dem Urteil eines Entscheidungsträgers und einer subjektiven Wahrscheinlichkeit angibt. Vgl. Krelle, W., Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung, a.a.O., S. 394.

3 Vgl. Shackle, G.L.S., Expectations in Economics, 2. Aufl., Cambridge 1952, S. 11 ff.

4 Vgl. Hax, H., Entscheidungsmodelle in der Unternehmung, a.a.O., S. 44 ff. und Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 73 ff. Schneider setzt den Verzicht auf subjektive Wahrscheinlichkeiten gleich mit der Negation rationalen Verhaltens bei Ungewißheit.

5 Vgl. Hax, H., Entscheidungsmodelle in der Unternehmung, a.a.O., S. 44.

Die im Zustandsbaum des obigen Beispiels (Abb. 1) den einzelnen Kanten zugeordneten Wahrscheinlichkeiten werden im folgenden mit w_{jt} bezeichnet. Der Wert für ein beliebiges Element w_{jt}, gibt jeweils die Wahrscheinlichkeit an, von einem Umweltzustand u_{jt-1}, t=1,...,T zu einem Folgezustand u_{jt},t=1, ...,T im Umweltverlauf j zu gelangen. Die Menge der einem Umweltverlauf j zugeordneten Wahrscheinlichkeiten soll mit W_j, die Menge aller den Umweltverläufen zugeordneten Wahrscheinlichkeiten mit W bezeichnet werden. Es gilt daher:

$$W = \{W_1,\ldots,W_j,\ldots,W_N\},$$

$$W_j = \{w_{j1},\ldots,w_{jt},\ldots,w_{jT}\}.$$

Das Produkt der jeweiligen Einzelwahrscheinlichkeiten ergibt nun die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein beliebiger Umweltverlauf j eintritt. Es gilt:

$$p(U_j) = \prod_{t=1}^{T} w_{jt}$$

Die Bestimmung der Umweltverläufe U_j und der ihnen zugeordneten Wahrscheinlichkeiten W_j bildet eine wesentliche Voraussetzung für die Behandlung von langfristigen Planungsproblemen und ist keineswegs unproblematisch. Im folgenden Kapitel wird untersucht, in welcher Form bei der Informationsbeschaffung vorzugehen ist, wenn man die vereinfachende Annahme, daß der Umweltverlauf nur an einer Größe gemessen wird, fallen läßt.

3.3.4. Quantitative und qualitative Probleme der Bestimmung des problemrelevanten Datenvolumens

Bei der oben dargestellten Konstruktion des Zustandsbaums wurde von der vereinfachenden Annahme ausgegangen, daß die Entwicklung der Umwelt lediglich an einer Variablen gemessen wird. Diese Voraussetzung ist bei praktischen Planungsproblemen im allgemeinen nicht erfüllt. Eine weitere vereinfachende Annahme war die Voraussetzung, daß die alternativ möglichen Umweltzustände im Wege der Punktschätzung zu ermitteln sind.

Im folgenden wird daher die Berücksichtigung mehrerer Umweltvariabler sowie die Einbeziehung von Intervallschätzungen untersucht.

3.3.4.1. Strategien zur Reduktion des Datenvolumens bei Berücksichtigung mehrerer Umweltvariabler

Liegen mehrere ungewisse Umweltvariablen vor, so wächst der Zustandsbaum, wie die folgenden Ausführungen zeigen, schnell zu einem "Zustandswald". Angenommen bei der Behandlung eines langfristigen Planungsproblems werden folgende Einflußgrößen einbezogen:

1. Rohstoffpreis,
2. Lohnentwicklung,
3. Absatzmenge,
4. Anschaffungsauszahlungen für ein Investitionsobjekt und
5. Zahlungsverhalten der Abnehmer.

Für jede dieser Einflußgrößen gelte, daß in einer Teilperiode jeweils k Ausprägungen möglich sind. Weiter wird Unabhängigkeit zwischen den Einflußgrößen unterstellt. Bei isolierter Betrachtung der Einflußgrößen und bei Annahme eines Planungszeitraums, der in T Perioden aufgeteilt ist, ergibt sich für die Anzahl der Knoten im Zustandsbaum je Einflußgröße:

$$N = \sum_{t=0}^{T} k^t.$$

Für k=3 und T=10 ergeben sich damit z.B. für die Verfolgung der Rohstoffpreisentwicklung insgesamt 88573 Zustandsknoten bzw. k^T unterschiedliche Umweltverläufe; für dieses Beispiel 59049. Gilt nun für jede Einflußgröße k=3, so sind je Einflußgröße 59049 alternative Umweltverläufe möglich. Läßt man zu, daß jede Ausprägung einer Einflußgröße mit einer beliebigen Ausprägung einer anderen Einflußgröße auftreten kann, so ergibt sich für die Menge der zu betrachtenden Umweltverläufe insgesamt ein Wert von $59049^5 \approx 7{,}1789 \cdot 10^{23}$.

Die Anzahl der zu schätzenden bedingten Wahrscheinlichkeitsverteilungen NW beträgt für jede Einflußgröße:

$$NW = \sum_{t=0}^{T-1} k^t.$$

Insgesamt sind für das vorliegende Beispiel 29524 · 5 = 147620 Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu schätzen. Die Dimension dieses Problems führt damit zu einer Komplexität, die die kognitiven Fähigkeiten des Planungsträgers bei weitem überfordert. Die Vermeidung dieser Komplexität muß durch

entsprechende Reduktionsleistungen erfolgen, die zu einem überschaubaren Datenvolumen führen. Damit stellt sich das Problem der Suche nach komplexitätsreduzierenden Strategien. Im folgenden wird eine Reihe möglicher Strategien diskutiert.

1. Eine Gruppe komplexitätsreduzierender Strategien ist darauf ausgerichtet, die Anzahl der im Planungsprozeß zu berücksichtigenden Einflußgrößen zu beschränken[1]. Hier sind vor allem zwei Möglichkeiten denkbar:

   a. Einmal kann im Wege von Sensitivitätsanalysen die Wirkung der Änderung von Einflußgrößen untersucht werden. Stellt sich z.B. heraus, daß die Änderung einer Einflußgröße keine oder nur eine geringe Änderung der Zielgrößen verursacht, so kann diese in den Planungsprozeß als deterministische Größe einbezogen werden. (Ließen sich im angeführten Beispiel zwei Größen eliminieren, so wird die Anzahl der zu bestimmenden Umweltverläufe bereits erheblich reduziert.)

   b. Eine weitere Möglichkeit, die Anzahl der Einflußgrößen zu reduzieren, ist durch die Zusammenfassung mehrerer Einflußgrößen gegeben (d.h. mehrere unsichere Größen werden durch eine unsichere Größe ersetzt). So könnte z.B. auf eine isolierte Schätzung von Kostenbestandteilen verzichtet und statt dessen versucht werden, die gesamten variablen Kosten zu schätzen.

2. Neben der Reduktion der Anzahl der zu berücksichtigenden Umweltvariablen ist die Beschränkung alternativer Ausprägungen einer Umweltvariablen durch den Ausschluß bestimmter Folgezustände als Methode zur Komplexitätsreduktion denkbar. Z.B. kann die zeitliche Folge guten Konjunkturklimas über eine Reihe von Planperioden aufgrund von Erfahrungen über Konjunkturzyklen ausgeschlossen werden. Ebenso ist vielfach der Übergang von einem extrem guten Umweltzustand auf einen extrem schlechten Umweltzustand nicht direkt möglich, sondern nur über eine Reihe weiterer Zwischenzustände. Gelingt es beispielsweise, die Anzahl der Ausprägungen einer Umweltvariablen je Planperiode von drei auf durchschnittlich zwei zu reduzieren, so sinkt bei einem Planungszeitraum von 10 Planperioden die Anzahl der zu betrachtenden Umweltverläufe bereits von 3^{10} auf etwa 2^{10}, d.h. von 59049 auf 1024.

---

1 Vgl. Raiffa, H., Einführung in die Entscheidungstheorie, München und Wien 1973, S. 308 ff.

3. Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion der Anzahl zu berücksichtigender Umweltverläufe ist der Ausschluß bestimmter Kombinationen von Ausprägungen der betrachteten Umweltvariablen je Planperiode. Diese Möglichkeit ist dann gegeben, wenn das gleichzeitige Auftreten von Ausprägungen mehrerer Umweltvariabler aufgrund der in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen ausgeschlossen werden kann. So führt z.B. der begründete Ausschluß des Auftretens einer aus der Sicht des Planungsträgers extrem guten Ausprägung einer Umweltvariablen mit einer aus gleicher Sicht extrem schlechten Ausprägung einer anderen Umweltvariablen über einen längeren Planungszeitraum zu einer weiteren Reduktion der Anzahl zu betrachtender Umweltverläufe.

   Diese Überlegung legt nahe, auf eine isolierte Prognose mehrerer Einflußgrößen von vornherein zu verzichten und sofort repräsentative Zukunftslagen zu schätzen[1]. In diesem Fall ist zunächst eine übergeordnete Größe zu suchen, die ein geeigneter Indikator für den Zustand der problemrelevanten Umwelt ist, z.B. der Konjunkturverlauf[2]. Im Zustandsbaum sind nun im ersten Schritt die alternativ denkbaren Konjunkturverläufe zu erfassen, wobei die möglichen Zustände je Planperiode z.B. durch ordinale Maßgrößen wie "gut", "mittel", "schlecht" bezeichnet werden. In der zweiten Stufe ist vom Planungsträger für die problemrelevanten Einflußgrößen zu konkretisieren, welche Ausprägungen dieser Größen den qualitativ unterschiedenen Umweltzuständen zuzuordnen sind. Im Extremfall wird also auf eine isolierte Schätzung der Einflußgrößen vollständig verzichtet. Allerdings ist diese Vorgehensweise mit einem erheblichen Informationsverlust verbunden und erhöht damit die Gefahr, daß relevante Kombinationen zu früh ausgeschlossen werden. Weiter wäre zu prüfen, ob die Angabe eines Glaubwürdigkeitsgrades für eine repräsentative Zukunftslage möglich ist, ohne zuvor die Glaubwürdigkeit der Einzelereignisse ermittelt zu haben.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß durch komplexitätsreduzierende Strategien die Anzahl der zu bestimmenden Umweltverläufe erheblich reduziert werden kann. Die Vorgehensweise ist dabei im Einzelfall vom Planungspro-

---

1 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 72.

2 Vgl. Hax, H., Die Koordination von Entscheidungen, Köln, Berlin, Bonn und München 1965, S. 22 ff.

blem abhängig[1].

3.3.4.2. Punkt- bzw. Intervallschätzung bei der Prognose von Umweltverläufen

Die Beschreibung der problemrelevanten Umwelt kann grundsätzlich qualitativ oder quantitativ erfolgen. Eine qualitative Messung des Umweltverlaufs durch ordinale Maßgrößen wie z.B. "gut", "mittel" und "schlecht" ist dann zur Charakterisierung des Umweltverlaufs gut geeignet, wenn die Anzahl der zu betrachtenden Umweltzustände gering ist und die Zustände nach dem "Ausschließlichkeitsprinzip"[2] zu ordnen sind. Wenn dann noch auf die Transformation der qualitativen Maßgrößen in quantitative Maßgröße verzichtet werden kann, weil z.B. die Konsequenzen einer Handlungsalternative bei Eintritt eines bestimmten Umweltzustands direkt zu übersehen sind, so stellt die Planungssituation weder an ein Planungsmodell noch an den Benutzer dieses Modells allzu hohe Anforderungen.

Praktische Planungsprobleme werden i.a. jedoch durch eine andersartige Planungssituation gekennzeichnet sein. Insbesondere bei Problemen langfristiger Planung ist die Ermittlung der Konsequenzen geplanter Strategien mit einem erheblichen rechentechnischen Aufwand verbunden; die Quantifizierung der Ausprägungen von Umweltvariablen ist somit unumgänglich. Sind Realisationen der zu quantifizierenden Umweltvariablen zudem in einem weiten Streubereich zu erwarten, so ist zu prüfen, in welcher Weise die problemrelevanten Umweltvariablen zu schätzen sind. Zu unterscheiden sind Punkt- und Intervallschätzungen. Bei der Punktschätzung wird ein einzelner Wert bestimmt, bei der Intervallschätzung ein Vertrauensbereich, in den die Realisationen einer Ausprägung von Umweltvariablen mit Sicherheit fallen.

Bei praktischen Planungsproblemen ist die Angabe von Intervallschätzungen als die realistischere Methode anzusehen[3]. Die Ungewißheit über zukünftige

---

1 Eine Reduktion der Anzahl der Planperioden durch Verlängerung der einzelnen Planperioden bei einem gegebenen Planungszeitraum, führt weiter zu einer Reduktion des zu beschaffenden Datenvolumens, kann jedoch auch nur in Abhängigkeit vom Planungsproblem entschieden werden.

2 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 72.

3 Vgl. Macharzina, K., a.a.O., S. 18.

Zustände der Umwelt besteht ja gerade darin, daß stets mehrere Ausprägungen einer Umweltvariablen denkbar sind. Der Planungsträger wird daher in vielen Fällen nur Bereiche angeben können, in die der unbekannte zukünftige Wert mit Sicherheit fällt[1]. Sind z.B. in Abhängigkeit vom Konjunkturverlauf alternativ mögliche Absatzmengen für eine Planperiode zu schätzen, so ist in den meisten Fällen nur die Angabe von Intervallschätzungen in der folgenden Form möglich:

Konjunkturverlauf	Absatz in ME	Glaubwürdigkeitsgrad
sehr gut	über 750 bis 800	0,15
gut	über 650 bis 750	0,35
mittel	über 550 bis 650	0,30
schlecht	über 500 bis 550	0,20

Tab. 2: Prognose von Absatzmengen bei Intervallschätzung

Innerhalb der geschätzten Intervalle kann durchaus eine Gleichverteilung vorliegen[2].

Die Frage ist nun, in welcher Form die angegebene Wahrscheinlichkeitsverteilung in den Planungsprozeß einzubeziehen ist. Ein Grundsatz der Verarbeitung vorhandener Informationen besteht darin, daß die Mehrwertigkeit der Erwartungen möglichst bis in die Entscheidungsphase fortzutragen ist[3], ein zweiter Grundsatz darin, daß alle vorhandenen Informationen auch tatsächlich verarbeitet werden[4]. Die beispielhafte Wahrscheinlichkeitsverteilung ist daher in der vorliegenden Form bis zur Entscheidung für eine Handlungsalternative weiterzuverarbeiten.

---

1 Vgl. Waldmann, J., Optimale Unternehmungsfinanzierung, Diss. Münster 1971, S. 159.

2 Die Annahme der Gleichverteilung der möglichen Absatzmengen in einem Intervall trägt dabei dem Informationsstand des Planungsträgers Rechnung. Die Annahme statistischer Verteilungen in einem Intervall, z.B. eine Normalverteilung, erscheint dagegen nicht sinnvoll und vernachlässigt die Tatsache, daß es sich hier um subjektive Schätzungen handelt.

3 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 81.

4 Vgl. Berthel, J. und Moews, D., a.a.O., S. 45.

Jede Verdichtung der vorhandenen Information durch Bildung von Intervallmittelwerten oder durch die Berechnung eines Erwartungswertes aus diesen Intervallmittelwerten ist zu vermeiden[1]. Die Verdichtung des Datenvolumens vor der Berechnung der Konsequenzen führt zu einer vermeidbaren Unterdrückung wesentlicher Entscheidungsgrundlagen und nimmt daher wesentliche Elemente einer Entscheidung vorweg. Dieser Grundsatz ist prinzipiell bei der Lösung von Planungsproblemen zu beachten und sollte nur bei den Umweltvariablen durchbrochen werden, deren Einfluß auf die zu erwartenden Konsequenzen geplanter Alternativen gering ist.

Die Weiterverarbeitung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen in der angeführten Form stellt jedoch besondere Anforderungen an die zur Unterstützung langfristiger Planung geeigneten Modelle. Möglichkeiten zur Realisation dieser Anforderungen sind Gegenstand des Teils C dieser Arbeit.

3.3.5. *Entscheidungen über den Informationsstand*

Die Beschaffung von Informationen über alternativ denkbare Zukunftslagen erfordert einen bestimmten Zeit- und Mittelaufwand. Unter der Voraussetzung, daß der Planungsträger bereits eine Grundmenge problemrelevanter Informationen besitzt und unter der weiteren Voraussetzung, daß der Entscheidungszeitpunkt verschoben werden kann und diese Verschiebung keinen Einfluß auf den Wert der Alternativen hat, ist zu entscheiden, wie mit "dem notwendig verbleibenden Rest an Ungewißheit"[2] verfahren werden soll. Unter den angegebenen Voraussetzungen ergibt sich also die Frage, ob zusätzliche Informationen zu beschaffen sind. Den wesentlichen Problemen der Entscheidung über die Verbesserung des Informationsstandes wird im folgenden nachgegangen.

Sinnvoll ist die Ermittlung zusätzlicher Informationen nur dann, wenn der Wert einer zusätzlichen Information die mit ihrer Beschaffung verbundenen

---

1 Die Verwendung von Intervallmittelwerten bzw. direkter Punktschätzungen ist allerdings in einer Vielzahl von Planungsmodellen üblich. Gegenstand dieser Arbeit ist u.a., zu zeigen, daß die vorhandenen Informationen auch in Form von Intervallschätzungen verarbeitet werden können. Die Verwendung von Mittelwerten als Modellinput sollte vermieden werden. Vgl. hierzu Witte, T., Simulationstheorie und ihre Anwendung auf betriebliche Systeme, Diss. Münster 1973, S. 174.

2 Mellwig, W., a.a.O., S. 50 f.

Kosten mindestens kompensiert[1]. Die Anwendung dieser Entscheidungsregel setzt jedoch voraus, daß der Wert und die Kosten einer zusätzlichen Information bestimmt werden können.

Die Ermittlung der Informationskosten ist dann relativ unproblematisch, wenn für Informationen Marktpreise existieren. Marktpreise sind gegeben, wenn Informationen von externen Anbietern bezogen werden können[2]. Sind die zusätzlichen Informationen innerbetrieblich zu beschaffen, so ist unter der Voraussetzung, daß eine Abteilung "Information" bzw. "Dokumentation"[3] oder aber eine Informationskostenrechnung[4] vorhanden ist, die Ermittlung der Gesamtkosten aller "produzierten" Informationen möglich. Zur Bestimmung der Kosten einer einzelnen Information ist jedoch ein i.a. nicht exakt zu lösendes Zurechnungsproblem gegeben.

Für die Informationsentscheidung sind nun allerdings nicht die Kosten bereits vorhandener Informationen relevant, sondern die Kosten der zu beschaffenden Information. In diesem Fall sind die Informationskosten im Wege der Prognose zu bestimmen. Die Prognose der Kosten erfordert wiederum Mittel- und Zeitaufwand, so daß die Informationskostenermittlung einem logischen Zirkel gleicht, der nur durchbrochen werden kann, wenn auf eine exakte Bestimmung der Kosten verzichtet wird[5].

Setzt man nun voraus, daß die Informationskosten annähernd exakt zu bestimmen sind, bleibt für die Informationsentscheidung das Problem der Bestimmung des Informationswertes. Ökonomisch wird der Wert einer Information nach ihrem pragmatischen Gehalt bestimmt[6]. Damit richtet sich die

---

1 Vgl. Wagner, H., a.a.O., S. 272.

2 Vgl. Rehberg, H., Wert und Kosten von Informationen, Frankfurt und Zürich 1973, S. 71. Einfach ist die Kostenermittlung, wenn direkt für eine Information gezahlt wird. Bei Verbandsinformationen z.B., für die nur ein jährlicher Betrag gezahlt wird, entsteht ein Zurechnungsproblem Vgl. ebenda, S. 73.

3 Vgl. Derselbe, a.a.O., S. 73.

4 Zu den Möglichkeiten der Gestaltung einer Informationskostenrechnung vgl. Wild, J., Input-, Output- und Prozeßanalyse von Informationssystemen. In: ZfbF, 22. Jg. (1970), S. 50 ff.; Derselbe, Informationskostenrechnung auf der Grundlage informationeller Input-, Output- und Prozeßanalysen. In: ZfbF, 22. Jg. (1970), S. 218 ff.

5 Vgl. Mellwig, W., a.a.O., S. 56 f. und Rehberg, J., a.a.O., S. 99 ff.

6 Vgl. Wild, J., Input-, Output- und Prozeßanalyse von Informationssystemen, a.a.O., S. 51.

Wertbestimmung nach der jeweiligen Situation, dem Planungsträger und den verfolgten Zielen. Inhaltlich wird der Wert einer Information allgemein als Differenz zwischen den Planungsergebnissen definiert, die sich ohne bzw. mit Berücksichtigung der zusätzlich beschafften Information ergeben[1]. Von diesem Bruttoinformationswert sind die Kosten der Informationsbeschaffung zu subtrahieren. Der so ermittelte Nettoinformationswert ist als Entscheidungsgrundlage für die Beschaffung zusätzlicher Informationen heranzuziehen.

Grundlage für die Bestimmung des Wertes einer Information ist damit, daß bereits ein Planungsstadium erreicht ist, in dem Handlungsalternativen und die ihnen zugeordneten Handlungsergebnisse aufgrund eines bis zu diesem Punkt ermittelten Informationsstandes bekannt sind. Nur auf dieser Grundlage ist über die Gewinnung zusätzlicher Informationen zu entscheiden, wenn die Informationswertbestimmung nicht in einem logischen Regreß enden soll[2].

Zur Entscheidung über die Beschaffung zusätzlicher Informationen ist eine Analyse der möglichen Auswirkungen eines Informationszugangs notwendig. Denkbare Wirkungen sind isoliert oder kombiniert[3]:

1. bezogen auf den Zustandsbaum:
   a. Einengung bzw. Ausweitung der problemrelevanten Wertebereiche,
   b. Ausweitung bzw. Reduktion der Anzahl der einzubeziehenden Umweltverläufe,
   c. Änderung der Obergangswahrscheinlichkeiten (Glaubwürdigkeitsgrade).
2. bezogen auf die Menge der Handlungsalternativen:
   a. Einbeziehung neuer Alternativen,
   b. Ausschluß bereits bekannter Alternativen.

---

1 Vgl. Lahrmann, W., Rationale unternehmerische Entscheidungen bei unvollkommener Information, Frankfurt und Zürich 1973, S. 78 sowie die dort angegebene Literatur.

2 Entscheidungen über den Informationsstand sind damit auf eine Teilmenge der insgesamt zu beschaffenden Informationen begrenzt.

3 Vgl. Rehberg, J., a.a.O., S. 158 und Grob, H.L., Computergestützte Preispolitik - Preisstrategische Modelle für Marketing-Informationssysteme, Wiesbaden 1975, S. 59.

Voraussetzung für die Ermittlung des Informationswerts ist weiter die Existenz eines Modells zur Berechnung der Konsequenzen der angeführten Wirkungen des Informationszugangs sowie eine Bewertungsfunktion, die eine Maßgröße für den Informationswert liefert[1]. Allgemein läßt sich nur angeben, unter welchen Bedingungen eine zusätzliche Information überhaupt einen Wert hat. Dies ist dann der Fall, wenn durch die neue Information eine andere Alternative als ursprünglich vorgesehen zu wählen ist. Bleibt es auch unter Berücksichtigung des neuen Informationsstandes bei der ursprünglich gewählten Handlungsalternative, so ist der Wert der zusätzlichen Information mit Null anzusetzen[2].

Zur Verdeutlichung der Entscheidung über den Informationsstand dient das folgende Beispiel. Aus Gründen der Vereinfachung wird dabei unterstellt, daß die Konsequenzen der Handlungsalternativen jeweils bekannt sind. Als Maß für den Informationswert wird die Erhöhung des mit einer Alternative verbundenen Erwartungswertes der Nettoeinnahme verwendet.

Es sei über ein Investitionsprojekt zu entscheiden, dessen Durchführung 400 GE erfordert. Im Falle eines Erfolges wird mit einer Einnahme von 2000 GE gerechnet, im Falle eines Mißerfolges mit einer Einnahme von Null, d.h. daß ein Verlust in Höhe der zur Durchführung des Projekts notwendigen Ausgaben eintritt. Bei Verzicht auf die Durchführung des Projekts kann der Betrag von 400 GE zu 15 % angelegt werden. Die sich hier ergebende Entscheidungssituation stellt die Abb. 2 in Form eines Entscheidungsbaumes dar. Hierbei finden die folgenden Symbole Verwendung:

X_1 = Durchführung des Projekts

X_2 = Anlage des für das Projekt notwendigen Ausgabenbetrages

E_1 = Projekterfolg

E_2 = Mißerfolg

$w(E_1)$ = Erfolgswahrscheinlichkeit

$w(E_2)$ = Mißerfolgswahrscheinlichkeit

NE = Nettoeinnahme

---

1 Als Maß für den Informationswert kann die Erhöhung des Anspruchsniveaus, des Risikonutzens sowie des Erwartungswertes bezogen auf eine Zielgröße herangezogen werden.

2 Vgl. z.B. Grob, H.L., a.a.O., S. 73; Rehberg, J., a.a.O., S. 159 ff.

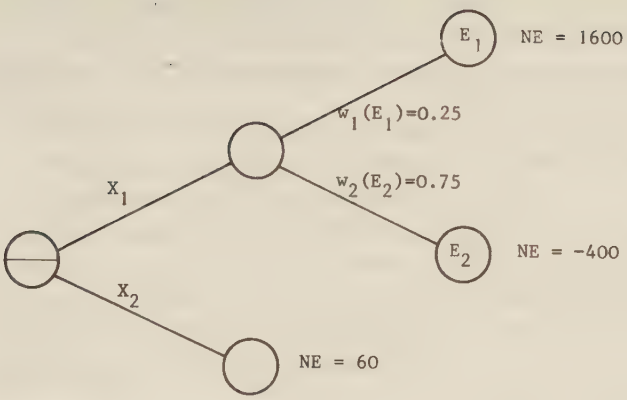


Abb. 2: Entscheidungsbaum bei gegebenem Informationsstand[1]

Der Erwartungswert der Nettoeinnahme beträgt bei Alternative X_1 100 GE $= /^{-}0{,}25 \cdot 1600 + 0{,}75 \cdot -400_7$, bei Alternative X_2 ergeben sich 60 GE. Beim gegebenen Informationsstand ist folglich die Alternative X_1 der Alternative X_2 vorzuziehen.

Wegen der hohen Wahrscheinlichkeit des Mißerfolges überlegt die Unternehmungsleitung nun, ob zunächst eine Marktforschungsstudie in Auftrag zu geben ist, zu deren Durchführung 120 GE notwendig sind. Unter der Voraussetzung, daß die Projektentscheidung bis zur Durchführung der Studie verschoben werden kann und durch die Verschiebung keine weiteren Kosten entstehen, ist über die Beschaffung der zusätzlichen Information zu entscheiden.

Zur Durchführung der Informationsentscheidung ist von den folgenden Überlegungen auszugehen: Das Ergebnis der Marktforschungsstudie stellt einen Informationszugang dar, der Einfluß auf die erneute Beurteilung des Projekterfolgs bzw. Mißerfolgs hat und sich in den subjektiven Erfolgs- bzw. Mißerfolgswahrscheinlichkeiten niederschlägt. Die geänderte Erfolgs- bzw. Mißerfolgswahrscheinlichkeit ist statistisch als bedingte Wahrscheinlichkeit aufzufassen. Unter der Voraussetzung, daß das Ergebnis der Markt-

1 : Entscheidungsknoten

forschungsstudie nur positiv (Ereignis M_1) oder negativ (Ereignis M_2) sein kann, sind zur Durchführung der Informationsentscheidung die bedingten Wahrscheinlichkeiten $w(E_1/M_1)$, $w(E_1/M_2)$, $w(E_2/M_1)$ und $w(E_2/M_2)$ zu bestimmen[1].

Die Schätzung dieser Wahrscheinlichkeiten kann direkt durch den Planungsträger erfolgen, der dann unter der Annahme, daß das Ergebnis der Marktforschungsstudie bereits vorliegt, die Erfolgs- bzw. Mißerfolgswahrscheinlichkeiten korrigieren muß. Diese Vorgehensweise kann unter Umständen zu einer Überforderung des Planungsträgers führen, da zur Korrektur der subjektiven Erfolgswahrscheinlichkeiten Informationen in Form von Erfahrungen über die Erfolgs- bzw. Mißerfolgswahrscheinlichkeiten von Marktforschungsstudien vorhanden sein müssen, die im allgemeinen nicht beim Planungsträger, sondern bei den Marktforschungsexperten vorliegen.

Aus diesem Grund ist in vielen Fällen eine Expertenbefragung vorzunehmen. Da den Experten wiederum Erfahrungen über die Erfolgswahrscheinlichkeiten des Projekts fehlen, können sie nur folgendes Urteil abgeben: Angenommen das Projekt wird ein Erfolg, dann beträgt die Wahrscheinlichkeit, daß eine Marktforschungsstudie ebenfalls auf einen Erfolg hindeutet aufgrund von Erfahrungen aus der Vergangenheit z.B. 0,50. Diese Wahrscheinlichkeit ist ebenfalls als bedingte Wahrscheinlichkeit aufzufassen und mit $w(M_1/E_1)$ zu bezeichnen. Unter der Voraussetzung, daß der Planungsträger die Schätzungen der Experten akzeptiert, sind durch Expertenbefragung die bedingten Wahrscheinlichkeiten $w(M_1/E_1)$, $w(M_1/E_2)$, $w(M_2/E_1)$ und $w(M_2/E_2)$ zu ermitteln. Aus diesen Wahrscheinlichkeiten sind dann die zur Informationsentscheidung notwendigen bedingten Wahrscheinlichkeiten $w(E_1/M_1)$, $w(E_1/M_2)$, $w(E_2/M_1)$ und $w(E_2/M_2)$ zu berechnen.

Im vorliegenden Beispiel sei eine Expertenbefragung durchgeführt worden, wobei sich folgende Ergebnisse herausstellten:

$$w(M_1/E_1) = 0{,}80 \quad , \quad w(M_2/E_1) = 0{,}20,$$
$$w(M_1/E_2) = 0{,}40 \quad \text{und} \quad w(M_2/E_2) = 0{,}60.$$

Ein Verfahren zur Revision von Glaubwürdigkeitsgraden bei hypothetisch an-

---

1 Die bedingte Wahrscheinlichkeit $w(E_i/M_j)$ gibt die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses E_i an, unter der Voraussetzung, daß M_j bereits eingetreten ist.

genommenem Informationszugang stellt die Regel von Bayes dar: Schließen sich n zufällige Ereignisse $E_1, E_2, \ldots, E_n$ mit $w(E_i) \neq 0, i=1,\ldots,n$ und $\sum_{i=1}^{n} w(E_i) = 1$ einander paarweise aus und ist M_j ein beliebiges Ereignis mit $w(M_j) \neq 0$, so gilt:

$$w(E_i/M_j) = \frac{w(E_i) \cdot w(M_j/E_i)}{\sum_{i=1}^{n} w(E_i) \cdot w(M_j/E_i)} \quad [1]$$

Mit Hilfe der Regel von Bayes kann die Wahrscheinlichkeit, daß ein Ereignis E_i eintritt unter der Voraussetzung, daß vorher M_j eingetreten ist, berechnet werden. Im vorliegenden Fall ist die Glaubwürdigkeit, daß das Investitionsobjekt ein Erfolg bzw. Mißerfolg wird, in Abhängigkeit vom Ergebnis der Marktforschungsstudie zu bestimmen. Zunächst sind jedoch die Wahrscheinlichkeiten $w(M_1)$ und $w(M_2)$ zu ermitteln, für die gilt:

$$w(M_j) = \sum_{i=1}^{n} w(E_i) \cdot w(M_j/E_i).$$

Das Ergebnis dieser Berechnung ist für das vorliegende Beispiel in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

i	M_1 $w(E_i) \cdot w(M_1/E_i)$	M_2 $w(E_i) \cdot w(M_2/E_i)$	
1	0,25 · 0,80 = 0,20	0,25 · 0,20 = 0,05	0,25
2	0,75 · 0,40 = 0,30	0,75 · 0,60 = 0,45	0,75
$w(M_j)$	0,50	0,50	1,00

Tab. 3: Berechnung der Wahrscheinlichkeiten $w(M_1)$ und $w(M_2)$

Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeiten $w(M_1)$ und $w(M_2)$ können nun die revidierten Wahrscheinlichkeiten mit Hilfe der Regel von Bayes ermittelt werden. Setzt man in den Nenner gleich $w(M_j)$ ein, so lautet die Regel von Bayes[2]:

1 Vgl. Rasch, D., Elementare Einführung in die mathematische Statistik, Berlin 1970, S. 61 ff.

2 Vgl. ebenda.

$$w(E_i/M_j) = \frac{w(E_i) \cdot w(M_j/E_i)}{w(M_j)}$$

	$w(E_i/M_1)$	$w(E_i/M_2)$
E_1	0,20/0,50 = 0,40	0,05/0,50 = 0,10
E_2	0,30/0,50 = 0,60	0,45/0,50 = 0,90
$w(E_1 \vee E_2)$	1,00	1,00

Tab. 4 : Berechnung der revidierten Glaubwürdigkeitsgrade

Der Entscheidungsbaum (Abb. 3) ist um die berechneten revidierten Glaubwürdigkeitsgrade, die Alternative I_1 (Informationsbeschaffung) und I_2 (Verzicht auf die Informationsbeschaffung) sowie der Ereignisse M_1 (positives Ergebnis der Marktforschungsstudie) und M_2 (negatives Ergebnis der Marktforschungsstudie) zu ergänzen.

Bei Kenntnis der an den jeweiligen Endknoten zu erwartenden Nettoeinnahmen[2] kann die Entscheidung über die Beschaffung der zusätzlichen Informationen im Wege einer "roll-back"-Analyse fixiert werden[3]. Für den Erwartungswert der Nettoeinnahmen bei Beschaffung der zusätzlichen Information gilt:

$$E_{I_1}(NE) = w(M_1) \cdot \max\{w(E_1/M_1) \cdot NE_1 + w(E_2/M_1) \cdot NE_2,\ NE_3\}$$
$$+ w(M_2) \cdot \max\{w(E_1/M_2) \cdot NE_1 + w(E_2/M_2) \cdot NE_2,\ NE_3\}$$

$$E_{I_1}(NE) = 110 \text{ GE}.$$

Für den Erwartungswert der Nettoeinnahme bei Verzicht auf die zusätzliche Information gilt:

---

1 Die Wahrscheinlichkeit $w(E_i/M_j)$ wird auch als a-posteriori-Wahrscheinlichkeit, die Wahrscheinlichkeiten $w(E_i)$ und $w(M_j/E_i)$ als a-priori-Wahrscheinlichkeiten bezeichnet. Vgl. Rasch, D., a.a.O., S. 68 f.

2 Die zur Durchführung der Marktforschungsstudie notwendigen 120 GE wurden bei den Ergebnissen an den relevanten Endknoten bereits berücksichtigt.

3 Zum Verfahren der roll-back-Analyse vgl. Raiffa, H., a.a.O., S. 39 ff.

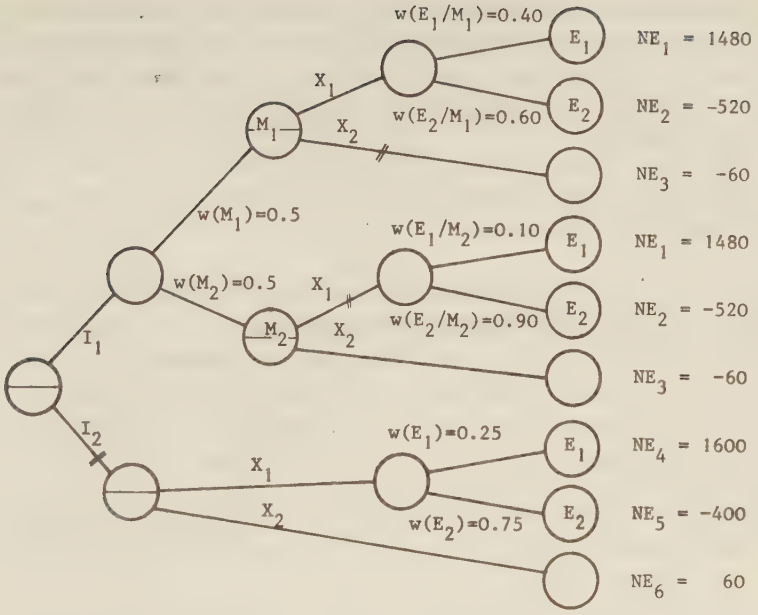


Abb. 3: Entscheidungsbaum bei Einschluß der Informationsentscheidung[1]

$$E_{I_2}(NE) = \max\{w(E_1) \cdot NE_4 + w(E_2) \cdot NE_5,\ NE_6\}$$

$$E_{I_2}(NE) = 100 \text{ GE}.$$

Da $E_{I_2}(NE) < E_{I_1}(NE)$ gilt, ist die zusätzliche Information zu beschaffen und die Entscheidung über das Investitionsprojekt bis zum Abschluß der Marktforschungsstudie zu verschieben. Vom Ergebnis der Studie hängt dann ab, ob das Projekt tatsächlich durchgeführt wird. Bei positivem Ergebnis wird investiert, bei negativem Ergebnis werden die zur Durchführung des Projekts erforderlichen Mittel angelegt (vgl. Abb. 3). Der ökonomische Wert der zusätzlichen Information ergibt sich als Differenz der beiden Erwartungswerte der Nettoeinnahmen $E_{I_1}(NE) - E_{I_2}(NE)$. Gleichzeitig kann angege-

1 Die mit dem Doppelstrich versehenen Kanten entsprechen den auszuschließenden Handlungsalternativen.

ben werden, bis zu welchem Betrag die Informationskosten höchstens steigen dürfen. Im vorliegenden Fall ergibt sich ein Betrag von 130 GE (Informationskosten + Informationswert). Übersteigen die Informationskosten diesen Betrag, so ist, falls alle anderen Werte gleich bleiben, auf die Information zu verzichten.

Unter den angegebenen Voraussetzungen kann folglich der ökonomische Wert einer Information bestimmt werden.

Zu fragen ist jedoch, ob nicht auch in Situationen, in denen der ökonomische Wert einer Information mit Null anzusetzen ist (Beibehaltung der ursprünglichen Entscheidung) eine zusätzliche Informationsbeschaffung aus subjektiven Bestimmungsgründen sinnvoll ist. Dies könnte beispielsweise dann der Fall sein, wenn zusätzliche Informationen einen psychologischen Wert besitzen, der dann natürlich kaum zu quantifizieren ist.

Angenommen eine bestimmte Entscheidung führe zu folgender Verteilungsfunktion F(G) des Gewinns[1]:

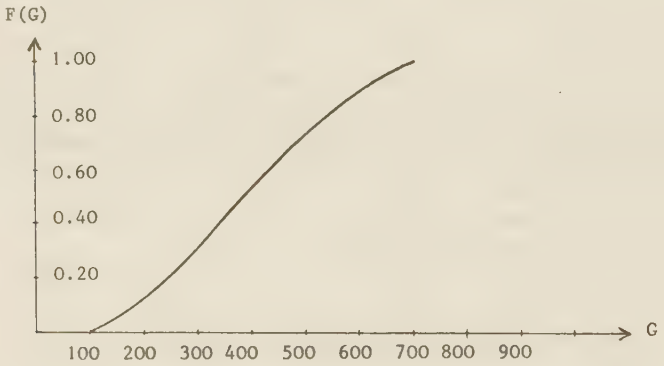


Abb. 4: Verteilungsfunktion des Gewinns bei gegebenem Informationsstand

Unter Berücksichtigung eines neuen Informationsstandes ergebe sich bei Beibehaltung der Entscheidung die in Abbildung 5 dargestellte Ver-

1 Die Verteilungsfunktion F(G) gibt jeweils an, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, einen bestimmten Gewinn G' zu unterschreiten, d.h. $F(G') = W(G \leq G')$. (Aus Gründen der Vereinfachung wird von einer stetigen Verteilungsfunktion ausgegangen.)

teilungsfunktion für den Gewinn $F_{II}(G)$, deren Auswertung die bisher gewählte Entscheidung bestätigte.

Da die ursprüngliche Entscheidung beibehalten wird, ist der ökonomische Wert der zusätzlichen Information also mit Null anzusetzen.

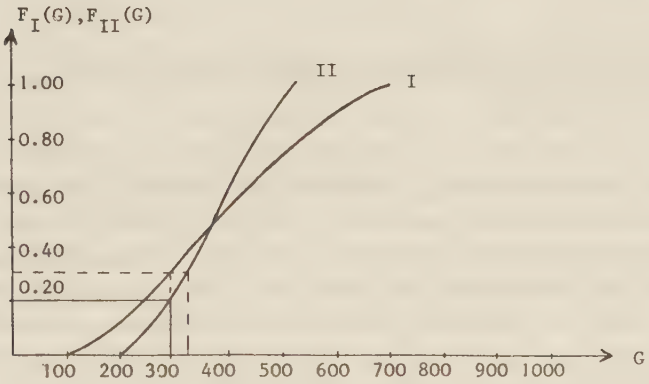


Abb. 5: Vergleich zweier Verteilungsfunktionen bei unterschiedlichem Informationsstand

I: Verteilungsfunktion ohne zusätzliche Information

II: Verteilungsfunktion mit zusätzlicher Information

Angenommen, der Entscheidungsträger habe sein Anspruchsniveau bei 300 GE Gewinn fixiert, so zeigt die Verteilungsfunktion $F_{II}(G)$, daß die Wahrscheinlichkeit, dieses Anspruchsniveau zu unterschreiten von ca. 30 % auf 20 % sinkt. Interpretiert man den Funktionswert F(G) als Maß für das mit einer Entscheidung verbundene Risiko, so zeigt die zusätzliche Information, daß die Entscheidung mit einem geringeren Risiko als ursprünglich angenommen verbunden ist. Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht kann es nun durchaus sinnvoll sein, die zusätzliche Information zu beschaffen, obwohl die ursprüngliche Entscheidung als richtig bestätigt wird. Denn das mit der Entscheidung verbundene Risiko sinkt bei gleichem Anspruchsniveau, bzw. bei Beibehaltung der ursprünglich fixierten Unterschreitungswahrscheinlichkeit kann das Anspruchsniveau erhöht werden (vgl. Abb. 5).

Nicht zuletzt hat die Möglichkeit des Aufschiebens einer Entscheidung unter Umständen einen psychologischen Wert, da der Entscheidungsdruck zunächst verringert und mit dem Zugang zusätzlicher Informationen eine Verminderung kognitiver Dissonanzen erreicht werden kann. Die Beschaffung zusätzlicher Informationen aus subjektiv bestimmten Gründen kann bei Akzeptanz eines Rationalitätsbegriffs, der den kognitiven Beschränkungen der Rationalität Rechnung trägt, nicht ohne weiteres verworfen werden.

3.4. *Reduktion der Problemkomplexität durch Reduktion der Menge der Handlungsalternativen*

Der Rahmen für die Entwicklung von Handlungsalternativen ist durch die zeitliche und sachliche Begrenzung des Problemfeldes und die problemrelevanten Umweltverläufe gegeben. Innerhalb dieses Problemrahmens sind nun Handlungsalternativen zu entwickeln, die zur Lösung des Planungsproblems geeignet sind. Obgleich durch die oben dargestellten Begrenzungen die Menge der insgesamt möglichen Handlungsalternativen bereits reduziert ist, können im allgemeinen wegen der auch dann noch verbleibenden Komplexität des Problems[1] nicht alle theoretisch möglichen Handlungsalternativen ermittelt werden[2]. Empirische Untersuchungen zeigten, daß in vielen Fällen nur eine begrenzte Anzahl von Alternativen entwickelt wird bzw. teilweise die untersuchte Alternative diejenige ist, die sich auf der Basis eigener Vorurteile schon im Stadium der Problemwahrnehmung aufdrängte[3]. Insbesondere die letzte Situation ist durch den Einsatz von Methoden zu verhindern, die in einer Vorphase der Alternativenentwicklung zunächst die Menge der Handlungsalternativen und ihre Kombinationsmöglichkeiten aufzeigen[4]. Der Prozeß der

---

1 Vgl. Gäfgen, G., a.a.O., S. 199 und Luhmann, N., a.a.O., S. 121. "Trotz Selektion bleibt die reduzierte Komplexität als Komplexität erhalten, und nur der Zeitablauf schließt gewisse Möglichkeiten definitiv aus".

2 Vgl. Simon, H.A., Administrative Behavior, a.a.O., S. 61 ff.; March, J.G. und Simon, H.A., a.a.O., S. 136 ff.; Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 71.

3 Vgl. Irle, M., Macht und Entscheidungen in Organisationen, Frankfurt 1971, S. 106 ff.

4 Zu nennen sind hier vor allem sogenannte Kreativitätstechniken, die zunächst zur Erzeugung von Komplexität dienen, um eine zu frühe Vorauswahl zu verhindern. Die erzeugte Komplexität wird dann im Ablauf des Planungsprozesses schrittweise vermindert. Eine Aufzählung dieser Techniken findet sich bei Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 149.

Alternativenermittlung erfordert u.U. deshalb zunächst Verfahren zur Erzeugung von Komplexität, damit im Extremfall die Zahl der Handlungsalternativen nicht zu früh auf eine einzige Alternative reduziert wird[1]. Diese in einer ersten Stufe erzeugte Komplexität ist dann schrittweise im Verlauf des Planungsprozesses zu reduzieren[2].

Weitere Probleme der Alternativenermittlung resultieren daraus, daß sie unabhängig voneinander realisierbar sein sollen[3]. Die Erfüllung dieser Forderung wird vor allem durch die Mehrstufigkeit von Alternativen erschwert. Diese ergibt sich einmal aus der zeitlichen Folge der Alternativen, zum anderen aus einer sachlichen Mehrstufigkeit, die daraus resultiert, daß in vielen Fällen über mehrere Entscheidungsvariable gleichzeitig zu entscheiden ist[4]. Selbst bei einer geringen Anzahl von Grundalternativen kann aufgrund der zeitlich und sachlich begründeten Mehrstufigkeit die Zahl der insgesamt zu untersuchenden Handlungsalternativen ein nur schwer zu bewältigendes Ausmaß annehmen. Die Lösung eines Planungsproblems ist, wenn überhaupt, dann nur im Wege einer schrittweisen Reduktion der Menge der Handlungsalternativen denkbar[5].

Die sachlich bedingte Mehrstufigkeit kann nun durch Ausschluß bestimmter Kombinationen von Entscheidungsvariablen im Wege einer Vorauswahl begrenzt werden. Für jede Teilperiode ist dann eine abgestimmte Kombination von Entscheidungsvariablen zusammenzufassen. Diese Vorgehensweise entspricht der Zusammenfassung mehrerer Umweltkonstellationen zu einer repräsentativen Zukunftslage, d.h. jedem Entscheidungszeitpunkt wird ein abgestimmtes Bündel von Einzelaktionen zugeordnet.

---

1 Vgl. Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 71.

2 Vgl. z.B. Rittel, H., Der Planungsprozeß als iterativer Vorgang zur Varietätserzeugung und Varietätseinschränkung. In: Arbeitsberichte zur Planungsmethodik, Bd. 4, Stuttgart 1970, S. 17 ff.

3 Vgl. Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 71.

4 Vgl. Gäfgen, G., a.a.O., S. 199 ff.; Wild, J., Unternehmungsplanung, S. 71 ff.

5 Diese Vorgehensweise wird von Clarkson für ein einstufiges Planungsproblem an einem Simulationsmodell eines Individualentscheidungsprozesses am Problem der Zusammensetzung eines Aktienportefeuilles demonstriert. Vgl. Clarkson, G.P.E., Portfolio Selection: A Simulation of Trust Investment, Englewood Cliffs, N.J. 1962; Clarkson, G.P.E., A Model of Trust Investment Behavior. In: A Behavioral Theory of the Firm, Hrsg. R.M. Cyert und J.G. March, Englewood Cliffs, N.J. 1963, S. 253 ff.

Wie bereits angedeutet, ergibt sich die zeitliche Mehrstufigkeit eines Planungsproblems aus der zeitlichen Abfolge von Teilentscheidungen. Die Struktur zeitlich mehrstufiger Handlungsalternativen zeigt beispielhaft die Abb. 6.

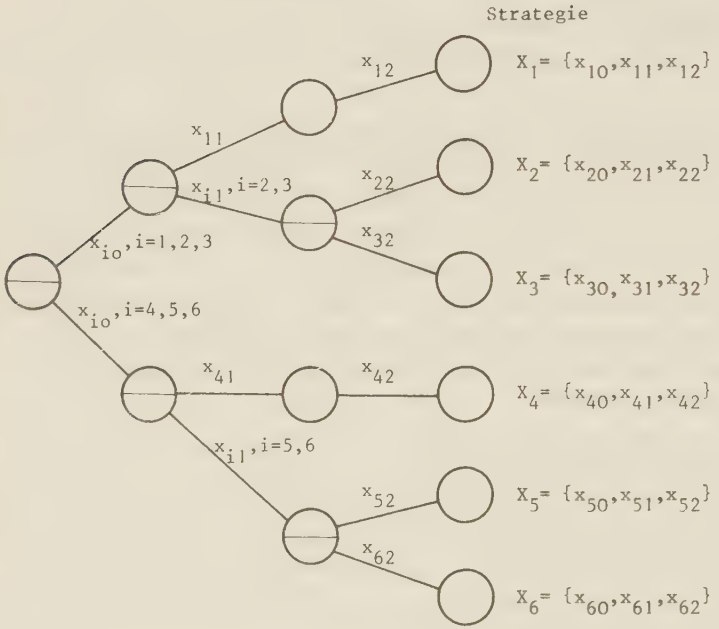


Abb. 6: Zeitlich mehrstufige Alternativenfolgen

Ausgehend von der Startentscheidung[1] $x_{i0}, i=1,2,3$ oder $x_{i0}, i=4,5,6$ sind im Zeitablauf weitere Folgeentscheidungen zu treffen. Die Entscheidung über $x_{i0}, i=1,2,3$ bzw. $x_{i0}, i=4,5,6$ kann dabei wegen der zeitlichen Interdependenzen nicht isoliert, sondern nur simultan mit den Folgeentscheidungen getroffen werden.

Eine Menge zeitlich verbundener Entscheidungen wird im folgenden als Strategie X_i bezeichnet, wobei ein Element x_{it} einer Strategie X_i die Teilentscheidung im Zeitpunkt t innerhalb einer Strategie X_i darstellt. Für den

1 Die hier verwendete Nomenklatur führt zu einer Doppelbezeichnung von Kanten. Vgl. Fußnote 2 S. 25.

Fall, daß gleichzeitig über mehrere sachlich zu trennende Aktionsvariablen zu entscheiden ist, kann ein Element x_{it} aus X_i auch vektorwertig sein.

Bezeichnet man die Menge aller möglichen Strategien mit X,so gilt im folgenden:

$$X = \{X_1,\ldots, X_i,\ldots,X_M\}$$

mit

$$X_i = \{x_{io},\ldots,x_{it},\ldots,x_{iT-1}\},\ i=1,\ldots,M.$$

Betrachtet man die in Abb. 6 aufgeführten möglichen Strategien im Zeitablauf, so zeigt sich, daß neben der Entscheidungsmöglichkeit zwischen x_{io}, i=1,2,3 bzw. x_{io},i=4,5,6 im Zeitpunkt t=0, zu den Zeitpunkten t=1 bzw. t=2 weitere Entscheidungsmöglichkeiten gegeben sind. So ist z.B. im Zeitpunkt t=1, unter der Voraussetzung, daß als Startentscheidung x_{i0},i=4,5,6 gewählt wurde, zu entscheiden, ob auf die Strategie X_4 überzugehen ist oder aber auf die Strategie X_5 bzw. X_6, wobei dann eine weitere Entscheidungsmöglichkeit in t=2 gegeben ist. Die Anzahl der in einem "Alternativenbaum" enthaltenen Verzweigungen kennzeichnet also den zukünftigen Entscheidungsspielraum. Der im Planungszeitpunkt t=0 erkennbare zukünftige Entscheidungsspielraum ist dabei in Abhängigkeit vom gegebenen Planungsproblem zu sehen.

Grundsätzlich denkbar sind auch Planungsprobleme, bei denen ausgehend von einer bestimmten Startentscheidung x_{io} nur noch technologisch determinierte Folgeentscheidungen möglich sind. In diesem Fall ist bereits durch die Problemstellung der Entscheidungsspielraum in der Zukunft eingeengt bzw. gänzlich ausgeschlossen. Die Menge der zu untersuchenden Handlungsalternativen wird dann neben den bereits erwähnten Bestimmungsgründen maßgeblich vom Umfang des problemabhängigen Entscheidungsspielraums bestimmt.

Sieht man einmal von einer technologischen Einengung des Entscheidungsspielraums ab, so wird tendenziell mit steigender Entfernung vom Planungszeitpunkt der Entscheidungsspielraum zunehmen. Gleichzeitig steigt damit die Schwierigkeit, diesen Entscheidungsspielraum im Planungszeitpunkt bereits zu erkennen und durch alternative Handlungsprogramme zu beschreiben. Im allgemeinen wird es deshalb nicht möglich sein, für den gesamten Planungszeitraum vollständig definierte Handlungsprogramme anzugeben. Mit steigender Entfernung vom Planungszeitpunkt wird daher trotz steigenden Entscheidungsspielraums die Anzahl der zu untersuchenden Strategien aufgrund der zunehmenden Problemunschärfe nicht weiter zunehmen.

3.5. *Die Bewertung geplanter Strategien*

Zur Auswahl einer zielentsprechenden Strategie sind für die entwickelte Strategiemenge X unter Berücksichtigung der Menge der problemrelevanten Umweltverläufe U und der Menge der Wahrscheinlichkeiten W die entsprechenden Konsequenzen bzw. eine Ergebnismenge Y zu bestimmen.

Im Bereich langfristiger Unternehmungsplanung ist zur Berechnung der Konsequenzen geplanter Strategien ein Modell heranzuziehen, das durch Zuordnung von Strategie, Umwelt und Wahrscheinlichkeit die Berechnung der Ergebnismenge Y vornimmt (vgl. Abb. 7), da eine direkte Angabe der Konsequenzen in der Regel nicht möglich ist[1].

Abb. 7: Zusammenhang zwischen Strategie, Umwelt und Ergebnis[2]

Allgemein besteht ein solches Modell aus einer Funktion E, die die entsprechende Zuordnung $E : X \times U \times W \to Y \times [0,1]$ bildet.

Die Konkretisierung der Funktion E ist Aufgabe der Modellbildung und bestimmt maßgeblich die Qualität des erzielbaren Modelloutputs.

Bevor auf die Struktur der Ergebnisse für die hier zugrundegelegte Planungssituation eingegangen wird, sind zweckmäßigerweise zunächst einige Aspekte der Bildung formaler Modelle zur Ermittlung der Konsequenzen geplanter Strategien zu untersuchen.

---

1 Wild spricht in diesem Zusammenhang von einer Wirkungsprognose. Vgl. Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 88.

2 Elemente in $Y \times [0,1]$ sind die Ausprägungen der Ergebnisse und ihre Wahrscheinlichkeiten.

3.5.1. *Die Bildung formaler Modelle zur Ermittlung der Konsequenzen geplanter Strategien*

Da mit der Bildung von Modellen die unterschiedlichsten Zwecke verfolgt werden, wird der Begriff des Modells divergierend definiert[1]. Auf eine allgemeine Diskussion des Modellbegriffs sei deshalb an dieser Stelle verzichtet[2]. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Fragen der Modellbildung, die mit dem hier gegebenen Problem in Zusammenhang stehen.

Wie bereits dargelegt, ist das Ziel der Modellbildung die Berechnung der Konsequenzen alternativer Strategien bei Vorgabe problemrelevanter Umweltverläufe. Im Rahmen langfristiger Unternehmensplanung ist das Objekt der Planung entweder die gesamte Unternehmung oder ein problementsprechender Teilbereich. Die zu testenden Strategien beziehen sich auf Systeme, die einer subjektiv wahrgenommenen Realität entstammen. Da zur Beurteilung alternativer Strategien die Betrachtung der Realität als Methode zur Lösung des Planungsproblems ausgeschlossen ist (denn die Entscheidung für eine Strategie ist schließlich vor Durchführung derselben zu treffen), wird Realität durch ein formales System ersetzt. Durch Beobachtung des formalen Systems können dann Informationen über das zukünftige Verhalten des realen Planungsobjekts gewonnen werden. Ein formales System, das diesem Zweck dient, wird im folgenden als Modell bezeichnet.

Modelle wie auch Planungsobjekte können als Systeme aufgefaßt werden. Der Begriff des Systems wird in der Literatur teilweise divergierend definiert[3]. Gemeinsam ist allen Definitionen, daß Systeme als strukturierte Ganzheit bezeichnet werden[4]. Da dieser Begriff zu vieldeutig erscheint, erfolgt an dieser Stelle eine Präzisierung des Systembegriffs.

Unter einem System S wird allgemein ein Objekt verstanden, das durch ein geordnetes Paar (M,R) gekennzeichnet ist, wobei M die Elemente umfaßt

---

1 Vgl. Klaus, G. und Buhr, M., a.a.O., S. 729 ff.

2 Vgl. dazu Stachowiak, H., Allgemeine Modelltheorie, a.a.O., S. 128 ff.

3 Eine Zusammenstellung von allein 24 Systemdefinitionen findet sich bei Klir, G.J., An Approach to General Systems Theory, New York u.a. 1969, S. 283 ff.

4 Vgl. Harbordt, S., Computersimulation in den Sozialwissenschaften, Bd. 1, Hamburg 1974, S. 45.

und R eine Menge von Relationen über M, die die Struktur des Systems definiert[1]. Allgemein gilt[2]:

$$S = (M,R)$$

mit $$M = \{M_1,\ldots,M_i,\ldots,M_n | n \geq 2,\ M_i \neq \emptyset;\ i = 1,\ldots,n\}$$

und $$R \subset M_1 \times M_2 \ldots \times M_i \times \ldots \times M_n.$$

Dieser Systembegriff ist so aufgebaut, daß er auf beliebige Objekte angewendet werden kann. Daher ist die Beschreibung des hier dargestellten allgemeinen Planungsproblems mit Hilfe dieses Systembegriffs ebenfalls möglich. Gekennzeichnet ist das Planungsproblem, wie bereits dargestellt, durch die Menge der Umweltverläufe U, die Menge der Übergangswahrscheinlichkeiten W, die Strategienmenge X und eine Ergebnismenge Y sowie eine Menge von Relationen über U, X, W, Y und dem Einheitsintervall $\underline{/}\bar{0},1\underline{\bar{/}}$. Unter Verwendung des obigen Systembegriffs gilt:

$$S = (\{X,U,W,Y,\ \underline{/}\bar{0},1\underline{\bar{/}}\},R)$$

mit $$X = \{X_1,\ldots,X_M\},$$

$$U = \{U_1,\ldots,U_N\},$$

$$W = \{W_1,\ldots,W_N\},$$

$$Y = \{Y_1,\ldots,Y_n\},$$

$$R \subset X \times U \times W \times Y \times \underline{/}\bar{0},1\underline{\bar{/}}.$$

Die Relation R kann hierbei durch eine Funktion E gegeben sein, die die entsprechende Zuordnung vornimmt. Der hier verwendete Systembegriff erlaubt nun eine genauere Analyse des Modellbildungsprozesses.

Gegenstand der Modellbildung sind hier reale Objekte. Zur Entwicklung eines Modells werden nun reale Objekte als System aufgefaßt. Diese Auffassung eines realen Objektes ist nur gedanklich möglich. Sie legt fest, was in der Systembetrachtung als Element aufzufassen ist. Im Rahmen der Volks-

1 Vgl. Klir, J. und Valach, M., Cybernetic Modelling, London 1967, S. 28; Wintgen, G., Zur mengentheoretischen Definition und Klassifizierung kybernetischer Systeme. In: Statistische Hefte, 11. Jg. (1970), S. 266 ff.; Witte, T., a.a.O., S. 4.

2 Vgl. Wintgen, G., a.a.O., S. 266 f.; Witte, T., a.a.O., S. 4 f.

wirtschaftslehre sind z.B. Unternehmungen Elemente des übergeordneten Systems Volkswirtschaft. Aus der Sicht der Betriebswirtschaftslehre sind Unternehmungen selbst Systeme, in denen Menschen, Sachmittel, Geld, Energie und Informationen unter einem bestimmten Zweck zusammengefaßt sind. Die Auffassung realer Objekte als System ist also ein gedankliches Konstrukt, das in Abhängigkeit vom Erkenntnisziel gebildet wird. Die Formalisierung dieses gedanklichen Konstrukts ergibt nun ein formales Modell. Die Bildung eines Modells ist deshalb als zweistufiger Prozeß aufzufassen[1]: Die Beschreibung eines Ausschnittes der Realität als System[2] durch Projektion bildet die erste Stufe der Modellbildung. Dieses System, das als Realsystem bezeichnet werden soll, wird durch Formalisierung zu einem formalen Modell (Formalsystem) und bildet die zweite Stufe der Modellbildung (vgl. Abb. 8).

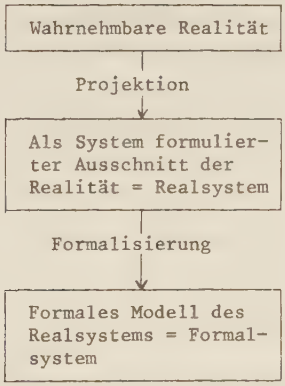


Abb. 8: Stufen der Modellbildung

Die Zweistufigkeit der Modellbildung wird im folgenden an der im Rahmen einer Finanzplanung notwendigen Prognose des Zahlungseingangs beispielhaft demonstriert. Die zu betrachtenden Elemente der Realität sind in diesem Fall die von der Unternehmung gelieferten Waren und die belieferten Abnehmer. Zur Prognose des Zahlungseingangs interessieren jetzt nur bestimmte

1 Vgl. Harbordt, S., a.a.O., S. 59 f.

2 Vgl. Dinkelbach, W., Modell - ein isomorphes Abbild der Wirklichkeit? In: Modell- und computergestützte Unternehmungsplanung, Hrsg. E. Grochla und N. Szyperski, Wiesbaden 1973, S. 161.

Eigenschaften dieser Elemente. Bei den gelieferten Waren ist die Eigenschaft problemrelevant, daß sie in einem Zeitpunkt t zu einem Umsatz UM_t führen. Bei den belieferten Kunden ist die Eigenschaft relevant, daß sie zu einem Zeitpunkt t' die gelieferten Waren bezahlen und damit beim Lieferanten einen Zahlungseingang $ZE_{t'}$ auslösen. Alle anderen Eigenschaften der betrachteten Elemente können zur Lösung des zugrundegelegten Problems unberücksichtigt bleiben. Die 1. Stufe der Modellbildung erfaßt also den zur Lösung des Prognoseproblems erforderlichen Ausschnitt der Realität, der nun als System formuliert werden kann. Dieses System wird durch zwei Elementmengen M_1 und M_2 und eine Relation über M_1 und M_2 gebildet, wobei M_1 die Umsätze und M_2 die Zahlungseingänge aufnimmt und die über M_1 und M_2 definierte Relation in allgemeiner Form das Zahlungsverhalten erfaßt. Dieses Realsystem ist durch $(\{M_1, M_2\},R)$ bestimmt.

Ein formales Modell dieses Realsystems erhält man durch Abbildung der Umsätze und Zahlungseingänge eines bestimmten Betrachtungszeitraums in zwei nach der Zeit geordneten Folgen NUM und NZE. Das formale System ist dann als ein System $(\{NUM, NZE\},R_1)$ definiert. Erstreckt sich der Transformationsprozeß der Umsätze in Zahlungseingänge[1] über m Perioden, so kann z.B. zur Prognose des Zahlungseingangs folgendes Modell formuliert werden:

$$ZE_t = \sum_{i=0}^{m} \alpha_i \cdot UM_{t-i},\ t=1,\ldots,T,$$ [2]

$$\sum_{i=0}^{m} \alpha_i = 1.$$ [3]

Die Koeffizienten α_i geben hierbei an, wieviel Prozent des Zahlungseingangs in einer Periode t aus den Umsätzen der Perioden t,t-1,...,t-m resultieren.

---

1 Zur Transformation von Umsätzen in Zahlungseingänge vgl. Langen, H., Betriebliche Zahlungsströme und ihre Planung in dynamischer Sicht. In: ZfB, 35. Jg. (1965), S. 261 ff.; Lücke, W., Finanzplanung und Finanzkontrolle in der Industrie, Wiesbaden 1965, S. 91 ff.; Edin, R., Wirkungsweise und Voraussetzungen der Prognose mit Verweilzeitverteilungen - Ergebnisse einiger Experimente mit Zufallszahlen. In: ZfB, 38 Jg. (1968), S. 743 ff.

2 Die Werte $UM_t,t=1-m,\ldots,T$ sind jeweils bei der Initialisierung des Modells anzugeben.

3 Damit werden Forderungsausfälle ausgeschlossen. Bei Einbeziehung von Forderungsausfällen gilt: $\sum_{i=0}^{m} \alpha_i < 1$.

Zu prüfen ist nun, ob zwischen dem Modell zur Prognose des Zahlungsverhaltens und dem in der Realität zu beobachtenden Verhalten ein sinnvoller Zusammenhang besteht. Zur Kennzeichnung des Zusammenhangs zwischen einem Modell und der Wirklichkeit werden in der Literatur die Begriffe Iso- und Homomorphismus verwendet[1].

Hier ist nun zu fragen, ob die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Modell und Wirklichkeit im Sinne eines Isomorphismus oder Homomorphismus überhaupt möglich ist. Wegen der formalen Definition eines Isomorphismus bzw. Homomorphismus[2] ist die Überprüfung dieser Beziehung nur auf formalem Wege möglich. Es ist deshalb erforderlich, daß die zu überprüfenden Systeme in formalisierter Form vorliegen[3]. Der Nachweis eines Homo- bzw. Isomorphismus ist daher nur zwischen dem als System formulierten Ausschnitt der Realität (Realsystem) und einem als formalem System formulierten Modell möglich[4]. Die Überprüfung der Beziehung zwischen Modell und Wirklichkeit durch einen Formalismus ist dagegen ohne Sinn, da Formalismen auf die Wirklichkeit nicht unmittelbar angewendet werden können[5]. Folglich kann der in der Literatur verbreiteten Ansicht, daß Modelle ein isomorphes bzw. homomorphes Abbild der Wirklichkeit sind, nicht zugestimmt werden. Für die Überprüfung der Eignung eines Modells zur Erklärung der Wirklichkeit sind daher andere Methoden zu verwenden.

Zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Modell und Wirklichkeit sind in erster Linie quantitative Methoden des Outputvergleichs geeignet[6], wobei

---

1 Vgl. z.B. Harbordt, S., a.a.O., S. 50 ff. sowie die dort angeführte Literatur.

2 Zur formalen Definition eines Iso- bzw. Homomorphismus vgl. Wintgen, G., a.a.O., S. 261 ff.

3 Vgl. Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd. 2, a.a.O., S. 35.

4 Vgl. Dinkelbach, W., Modell - ein isomorphes Abbild der Wirklichkeit?, a.a.O., S. 161.

5 Vgl. Kirsch, W., Entscheidungsprozesse, Bd. 2, a.a.O., S. 35 und Zahn, E., Zur Anwendung mathematischer Modelle bei der strategischen Planung. In: Modell- und computergestützte Unternehmungsplanung, Hrsg. E. Grochla und N. Szyperski, Wiesbaden 1973, S. 619.

6 Zu den quantitativen Methoden des Outputvergleichs vgl. Naylor, T.H. und Finger, J.M., Validation. In: Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems, Hrsg. T.H. Naylor, New York u.a. 1971, S. 153 ff.; Theil, H., Applied Economic Forecasting, Amsterdam 1966, S. 26 ff.; Emshoff, H.R. und Sisson, R.L., Design und Use of Computer Simulation Models, New York und London 1970, S. 204 ff.; Harbordt, S., a.a.O., S. 156 ff.

allerdings allgemeingültige Verfahren z.Zt. nicht angegeben werden können[1]. Das oben formulierte Prognosemodell kann z.B. auf dem Wege einer dynamischen ex-post-Prognose für bereits realisierte Zahlungseingänge RZE_t und Umsätze RUM_t überprüft werden. Mit Hilfe des Modells wird dann für jede Teilperiode eines bereits abgelaufenen Planungszeitraums ein Zahlungseingang ZE_t bestimmt und dem realen Zahlungseingang RZE_t gegenübergestellt. Als Maß für die Eignung des Modells kann z.B. der "inequality-coefficient" von Theil[2] dienen, der ein Maß IC für die Abweichung der Ausprägungen einer Modellvariablen von in der Realität festgestellten Werten liefert. Für das vorliegende Beispiel ist das Maß IC folgendermaßen definiert:

$$IC = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(RZE_t - ZE_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}RZE_t^2} + \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}ZE_t^2}}.$$

Maximale Gleichheit zwischen den Modellergebnissen und den tatsächlichen Werten liegt vor, wenn gilt:

$$\sum_{t=1}^{n}(RZE_t - ZE_t)^2 = 0.$$

In diesem Fall gilt IC=0, d.h. zwischen Modellergebnissen und tatsächlichen Werten besteht Identität. Maximale Ungleichheit besteht, wenn entweder die Werte ZE_t oder RZE_t den Wert Null annehmen; für den Quotienten gilt dann IC=1, d.h. das Modell ermittelt Werte, denen reale Werte von Null gegenüberstehen oder umgekehrt. Für ZE_t, $RZE_t > 0$ und $ZE_t \neq RZE_t$, $t=1,\ldots,n$ liegt IC zwischen Null und Eins, wobei bei sinkenden Differenzen zwischen ZE_t und RZE_t das Maß IC sich dem Idealfall IC=0 nähert. Der "inequality-coefficient" ist damit prinzipiell zur Beurteilung eines Modells geeignet.

Die Definition der maximalen Ungleichheit nach Theil ist allerdings nicht zweckmäßig, wie folgendes Beispiel zeigt. Ist $ZE_1=ZE_2=0$ und $RZE_1=RZE_2=1$, so nimmt IC den Wert Eins an, d.h. es besteht maximale Ungleichheit. Im Falle $ZE_1=ZE_2=100$ und $RZE_1=RZE_2=1$ gilt IC<1, d.h. daß ein Modell, das die Werte $ZE_1=ZE_2=100$ liefert, einem Modell, das die Werte $ZE_1=ZE_2=0$ bei realen Werten von $ZRE_1=ZRE_2=1$ produziert, vorzuziehen ist. Die Fälle $RZE_t=0$ bzw.

---

1 Vgl. Ludewig, J., Simulationsmodelle ganzer Unternehmungen, Wiesbaden 1975, S. 54 ff.

2 Vgl. Theil, H., a.a.O., S. 26 ff.

$ZE_t=0$, $t=1,\ldots,n$, die zum Ergebnis IC=1 führen, sollten daher ausgeschlossen und der Definitionsbereich von IC sollte auf $0 \leq IC<1$ beschränkt werden, da dann IC in jedem Fall sinnvoll zu interpretieren ist.

Die durch Anwendung quantitativer Methoden des Outputvergleichs festgestellten Abweichungen zwischen Modell und Wirklichkeit können einmal durch Datenfehler bedingt sein, z.B. fehlerhafte α_i im vorliegenden Fall. Schwerwiegender sind strukturelle Unterschiede zwischen Modell und Wirklichkeit[1]. Dies ist beim Beispiel der Prognose des Zahlungseingangs dann der Fall, wenn z.B. Vorauszahlungen auf zukünftige Lieferungen nach Auftragsabschluß üblich sind. Das System $(\{M_1,M_2\},R)$ ist dann eine unvollständige Projektion der Wirklichkeit in ein gedachtes System. Die mit dem Modell errechneten Zahlungseingänge werden dann nur zufällig den tatsächlichen Zahlungseingängen entsprechen. Das Realsystem ist deshalb um eine Elementmenge M_3 (Auftragsbestände) zu $(\{M_1,M_2,M_3\},R_2)$ mit $R \subset M_1 \times M_2 \times M_3$ zu ergänzen. Für den betrachteten Zeitraum sind die Auftragsbestände AB_t in eine zeitlich zugeordnete Folge NAB zu überführen. Das Formalsystem wird jetzt durch $(\{NUM,NZE,NAB\},R_3)$ gebildet und die Relation $R_3 \subset NUM \times NZE \times NAB$ ist bei der Modellbildung zu konkretisieren. Die Korrektur des abgebildeten Ausschnitts der Realität führt damit zu einem geänderten Modell.

Das Ergebnis dieser Ausführungen läßt sich folgendermaßen zusammenfassen: Im Rahmen langfristiger Unternehmungsplanung dienen Modelle zur Ermittlung der Konsequenzen geplanter Strategien. Damit der Rückschluß von Modellergebnissen auf die Realität möglich ist, muß zwischen Modell und Wirklichkeit ein sinnvoller Zusammenhang bestehen. Isomorphismen bzw. Homomorphismen sind zur Überprüfung dieses Zusammenhangs nicht geeignet. Wie oben dargestellt, sind sie nur zwischen symbolischen Systemen feststellbar, und damit auf den Zusammenhang zwischen einem als System formulierten Ausschnitt der Wirklichkeit und einem Modell beschränkt.

Die Eignung eines Modells zur Erklärung des Verhaltens eines realen Planungsobjektes hängt maßgeblich von der Projektion der Realität in ein Realsystem ab, d.h. davon, in welchem Umfang es gelingt, Wirklichkeit als System zu beschreiben.

---

1 Strukturelle Unterschiede können allerdings nicht mit Hilfe von Methoden des Outputvergleichs ermittelt werden, da diese auf die Überprüfung der Gleichheit des Verhaltens abgestimmt sind. Vgl. Harbordt, S., a.a.O., S. 160 f.

3.5.2. Die Struktur der Ergebnismenge

Liegt ein geeignetes Modell zur Ermittlung der mit einer Strategie verbundenen Konsequenzen vor, so kann die Ergebnismenge Y berechnet werden. Für diese gilt:

$$Y = \{Y_{11},\ldots,Y_{ij},\ldots,Y_{MN}\}$$

mit $$Y_{ij} = \{y_{ij1},\ldots,y_{ijt},\ldots,y_{ijT}\}, \qquad i=1,\ldots,M, \quad j=1,\ldots,N.$$

Dabei gibt Y_{ij} die mit einer Strategie X_i und einem Umweltverlauf U_j verbundene Ergebnismenge an, deren Elemente y_{ijt} das den einzelnen Planperioden zugeordnete Ergebnis darstellen. Die Elemente y_{ijt} können dabei Skalare sein, wenn das Modell nur einen Wert erzeugt. Im allgemeinen ist y_{ijt} jedoch ein Vektor, der den gesamten Modelloutput für eine Planperiode t bei einem Umweltverlauf U_j und einer Strategie X_i aufnimmt. Die ersten L Komponenten dieses Vektors enthalten dann die Ausprägungen der zur Beurteilung einer Strategie verwendeten Zielgrößen, die folgenden K Komponenten die für das Modell darüber hinaus benötigten Größen. Bezeichnet man die Ausprägungen der L Zielgrößen im Zeitpunkt t bei einer Strategie i und einem Umweltverlauf j mit $z_{ijtl}, l=1,\ldots,L$ und die übrigen K Komponenten entsprechend mit $e_{ijtk}, k=1,\ldots,K$, so gilt für y_{ijt}:

$$y_{ijt} = (z_{ijt1},\ldots,z_{ijtL},e_{ijt1},\ldots,e_{ijtK}),$$
$$i=1,\ldots,M$$
$$j=1,\ldots,N$$
$$t=1,\ldots,T.$$

Den Zusammenhang zwischen den Mengen X, U, W und Y soll das folgende Beispiel verdeutlichen. Gegeben sei ein Zustandsbaum (vgl. Abb. 9), eine Strategienmenge (vgl. Abb. 10) und der sich aus der Zusammenfassung von X, U und W ergebende Entscheidungsbaum (vgl. Abb. 11).

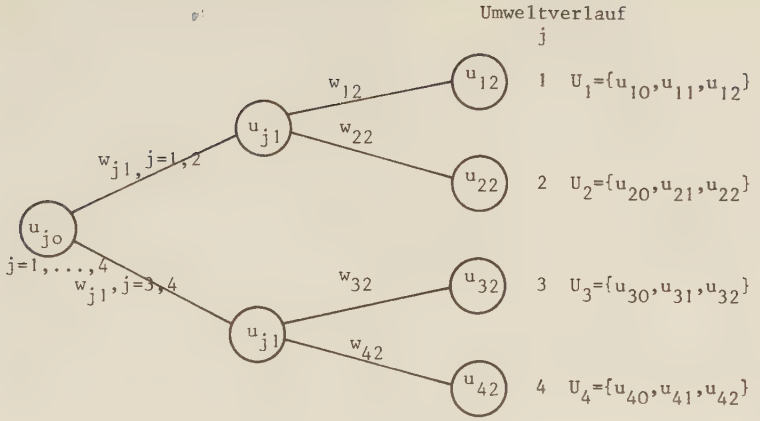


Abb. 9: Zustandsbaum mit $U=\{U_1,U_2,U_3,U_4\}$

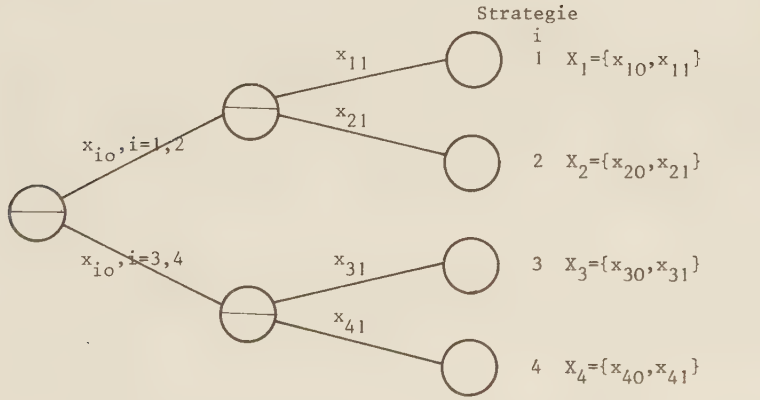


Abb. 10: Strategienmenge $X = \{X_1,X_2,X_3,X_4\}$

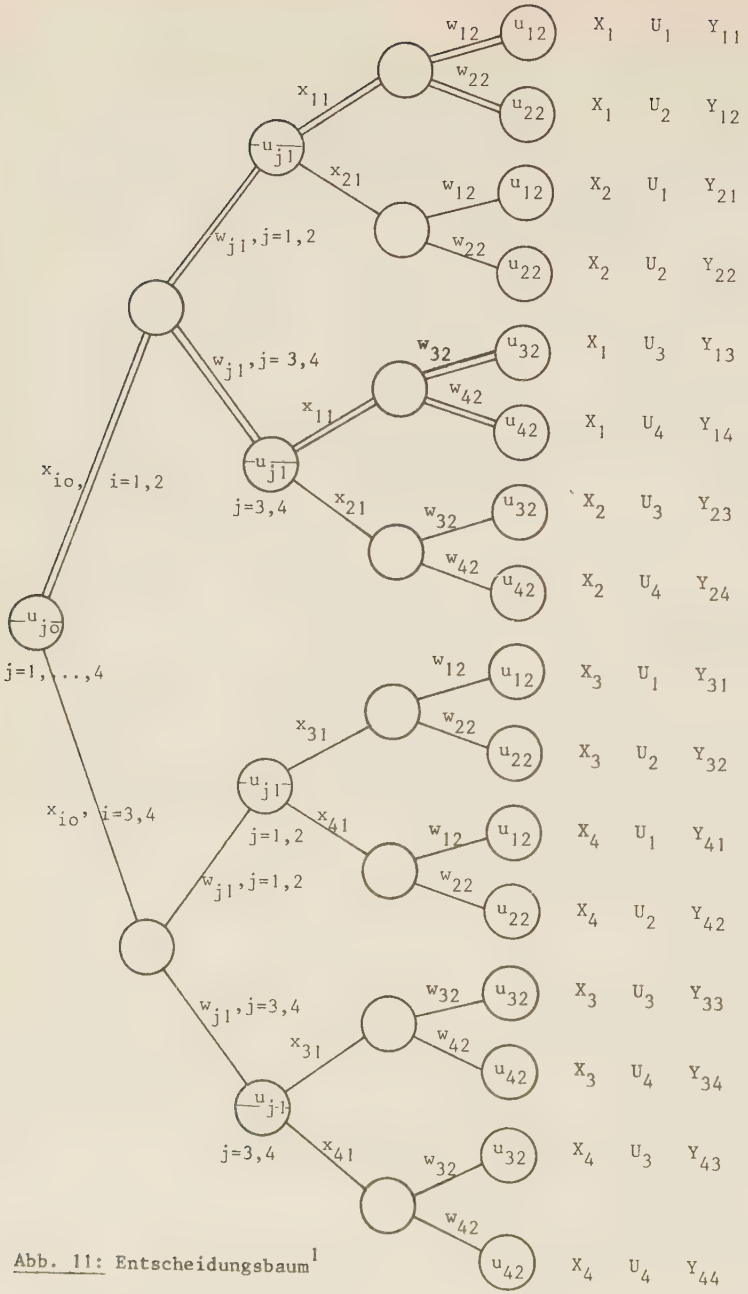


Abb. 11: Entscheidungsbaum[1]

1 Die mit dem Doppelstrich gekennzeichneten Kanten stellen beispielhaft die mit der Strategie X_1 verbundenen Elemente des Entscheidungsbaums dar.

Wird eine Strategie $X_i=\{x_{i0},x_{i1}\}$ vorgegeben, so ergeben sich im vorliegenden Beispiel die Ergebnismengen Y_{ij}, deren Elemente y_{ijt} jeweils dem Ende einer Periode zugeordnet sind.

Diese Elemente sind nun als Realisation einer Zufallsvariablen aufzufassen, da sie vom Eintritt der Umweltverläufe $U_1,\ldots,U_N$ abhängen. Die Einzelereignisse u_{jt} in einem Umweltverlauf U_j treten jeweils nach einem Ereignis u_{jt-1} mit der bedingten Wahrscheinlichkeit w_{jt} ein. Folglich sind die Einzelereignisse u_{jt} eines Umweltverlaufs U_j stochastisch abhängig. Hieraus folgt, daß die mit einem Umweltverlauf U_j und einer Strategie X_i verbundenen Ergebnisse ebenfalls stochastisch abhängig sind.

Aus diesem Grunde können die Ergebnisse y_{ijt} nicht isoliert betrachtet werden. Zur Beurteilung einer Strategie X_i sind vielmehr die Ergebnismengen $Y_{ij},j=1,\ldots,N$ heranzuziehen, die als Realisationen einer mehrdimensionalen Zufallsgröße ZY aufzufassen sind.

Die Wahrscheinlichkeit, daß bei einer Strategie X_i die Zufallsvariable ZY genau das Ergebnis $Y_{i.}$ annimmt, ergibt sich dann als[1]:

$$p_i(ZY=Y_{i.}) = p_i(ZY=(y_{i.1},\ldots,y_{i.T})) = \sum_{j:Y_{ij}=Y_{i.}} \prod_{t=1}^{T} w_{jt} \quad .$$

Bei einem Planungszeitraum von t=2 Perioden ergeben sich damit unter der Voraussetzung, daß die Elemente $y_{i.t}$ Skalare sind, Elemente einer zweidimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilung. Unter der gleichen Voraussetzung bei T Planperioden Elemente einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der Dimension T.

Für den Fall, daß die $y_{ijt}\varepsilon Y_{ij}$ vektorwertig sind, d.h. L+K Komponenten enthalten, sind die mit einer Strategie X_i und einem Umweltverlauf U_j verbundenen Ergebnisfolgen Y_{ij} Realisationen einer Zufallsvariablen ZY der Dimension $T\cdot(K+L)$.

Da zur Beurteilung einer Strategie nur die Ausprägungen der Zielgrößen relevant sind - definitionsgemäß bilden sie die ersten L Komponenten des Ergebnisvektors - wird zur Unterscheidung eine Zufallsvariable ZZ eingeführt,

---

1 Da bei unterschiedlichen Umweltverläufen Elemente aus $\{Y_{i1},\ldots,Y_{iN}\}$ die gleiche Ausprägung $Y_{i.}$ haben können, ist über alle j mit $Y_{ij}=Y_{i.}$ zu summieren.

deren Realisationen Ausprägungen der Zielgrößen $z_{i.11},\ldots,z_{i.1l},z_{i.2L}$, $\ldots,z_{i.TL}$, i=1,...,M sind. Damit ergeben sich Elemente einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der Dimension T·L. Die Wahrscheinlichkeit, daß eine bestimmte Ausprägungsfolge der L Zielgrößen eintritt, ist dann wie folgt definiert:

$$p_i(ZZ=(z_{i.11},\ldots,z_{i.TL})) = \sum_{j:z_{ijtl}=z_{i.tl}} \prod_{t=1}^{T} w_{jt}$$

$$t = 1,\ldots,T,$$

$$l = 1,\ldots,L,$$

$$i = 1,\ldots,M.$$

Bei vektorwertigen Elementen der Ergebnisfolgen y_{ijt} ergeben sich damit, unabhängig von einer durch ein Planungsverfahren[1] definierten Vorschrift zur Zusammenfassung der mit einer Strategie verbundenen Realisationen der Zufallsvariablen ZZ, Elemente von Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Dimension T·L bzw. T im Fall monovariabler Zielsetzung.

Faßt man nun die sich bei Verfolgung einer Strategie X_i ergebenden Elemente zu Wahrscheinlichkeitsverteilungen zusammen, so ergibt sich für einen Planungsträger das Problem, über T- bzw. T·L-dimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu entscheiden. Für dieses Problem existiert bislang keine allgemeine Lösung[2].

Die Ergebnismenge Y bzw. die in den Ergebnisvektoren enthaltenen L Zielgrößen sind daher so umzustrukturieren, daß das Entscheidungsproblem in einer vom Planungsträger zu bewältigenden Form vorliegt. Die für diesen Zweck geeigneten Methoden sind Gegenstand des folgenden Kapitels.

---

1 Wie im Teil C dieser Arbeit noch zu zeigen sein wird, bestimmt das Planungsverfahren, in welcher Form die sich bei Vorgabe einer Strategie X_i ergebenden Realisationen einer Zufallsvariablen zu Wahrscheinlichkeitsverteilungen zusammenzufassen sind. Dies ändert jedoch nichts an der Struktur des hier nun vorliegenden Entscheidungsproblems. Daher ist auf die mit dem Planungsverfahren verbundene Vorgehensweise an dieser Stelle nicht näher einzugehen.

2 Vgl. z.B. hierzu Witte, T., a.a.O., S. 176 sowie die dort angegebene Literatur.

3.5.3. *Umstrukturierung der Ergebnismenge als Grundlage der Strategienauswahl*

Wie die obigen Ausführungen zeigten, beruht die Mehrdimensionalität der vom Planungsträger zu beurteilenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen auf zwei Ursachen. Zum einen können die Ausprägungen der zur Beurteilung von Strategien verwendeten Zielgrößen zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen und zum anderen können die Konsequenzen der Strategien an mehreren Zielgrößen gemessen werden. Es ergibt sich demnach das Problem, die Mehrdimensionalität der sich ergebenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu reduzieren. Den für diesen Zweck geeigneten Methoden ist gemeinsam, daß sie Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Dimension T·L auf solche der Dimension L reduzieren. Ziel dieser Methoden ist damit die Ausschaltung oder die Verhinderung einer zeitlich bedingten Mehrdimensionalität der zu beurteilenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Die Vorgehensweise zur Reduktion der Dimension einer Wahrscheinlichkeitsverteilung von T·L auf L soll an dem in Abb. 12 dargestellten Beispiel demonstriert werden. Abbildung 12 zeigt einen Ausschnitt aus einem bewerteten Entscheidungsbaum für eine hier nicht näher zu spezifizierende Strategie $X_1=\{x_{10},x_{11},x_{12}\}$, zu deren Bewertung L=3 Zielgrößen verwendet wurden. Die den einzelnen Knoten zugeordnete Ausprägung der L Zielgrößen sind im folgenden in Abhängigkeit von der dargestellten Vorgehensweise zu interpretieren.

Eine Möglichkeit zur Verhinderung der zeitlich bedingten Mehrdimensionalität ist die Verwendung von Zielgrößen, die sich von vornherein auf den Planungshorizont beziehen, wie z.B. die auf den Planungshorizont bezogene Zielgröße Endvermögen. In diesem Fall sind zur Beurteilung einer Strategie nur die am Planungshorizont feststellbaren Ausprägungen der Zielgrößen zu betrachten. Die zur Beurteilung einer Strategie zu bildende Wahrscheinlichkeitsverteilung hat dann die Dimension L.

Werden für das vorliegende Beispiel nur die Ausprägungen der Zielgrößen z_{ijT1} verwendet, so sind die Ausprägungen dieser Zielgrößen als Realisationen einer Zufallsvariablen ZZ^T aufzufassen. Für die sich ergebende Wahrscheinlichkeitsverteilung der Dimension L gilt dann:

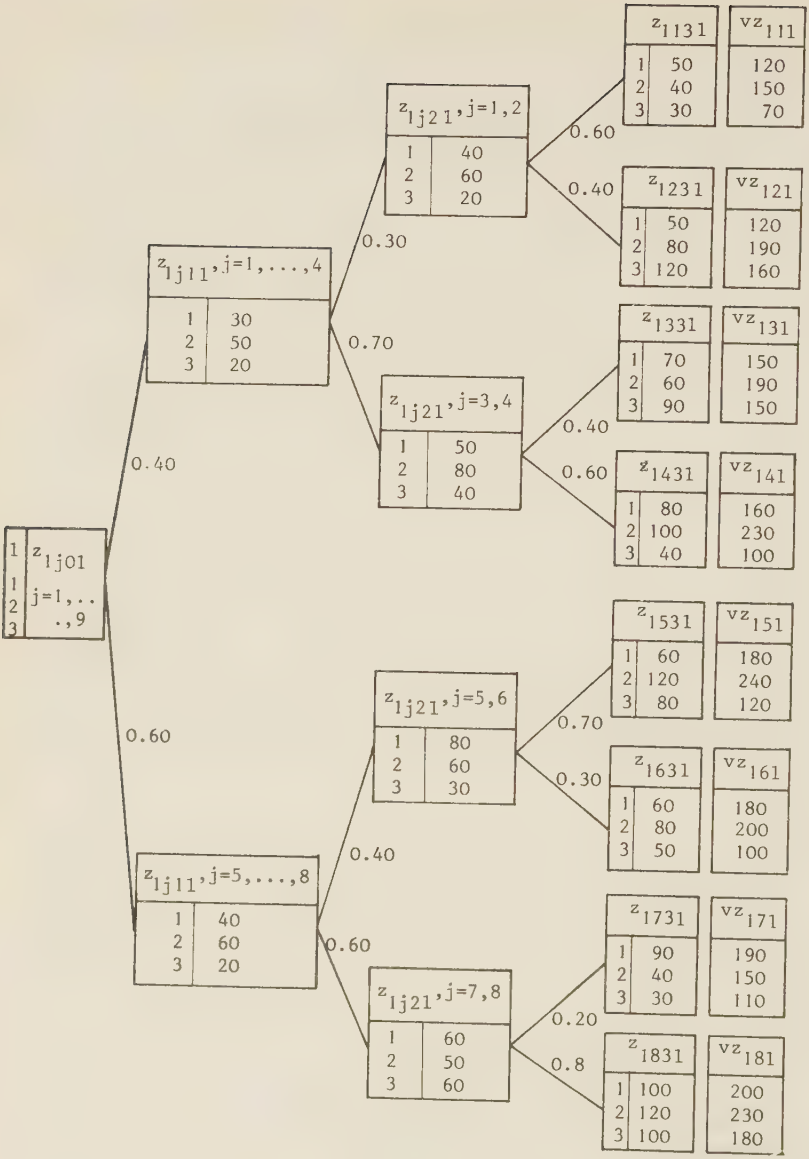


Abb. 12: Ausschnitt aus einem Entscheidungsbaum bei einer Strategie X_1

$$p_i(ZZ^T = (z_{i.T1},\ldots,z_{i.TL})) = \sum_{j} \prod_{t=1}^{T} w_{jt}$$

$$j:z_{ijTl} = z_{i.Tl},$$

$$l=1,\ldots,L,$$

$$i=1,\ldots,M.$$

Die Verwendung von Zielgrößen, die auf den Planungshorizont bezogen sind, verhindert damit von vornherein, daß über Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Dimension T·L entschieden werden muß. Bei Beschränkung der Betrachtung auf die in den Ergebnisvektoren y_{ijT}, i=1,...,M, j=1,...,N enthaltenen Ausprägungen der Zielgrößen z_{ijTl}, l=1,...,L wird daher das Entscheidungsproblem vereinfacht, da nun entweder über Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Dimension L=1 (monovariable Zielsetzungen) oder der Dimension L>1 (multivariable Zielsetzung) zu entscheiden ist. Die Verarbeitung dieser Verteilungen im Entscheidungsprozeß ist dann von der Entscheidungsregel abhängig.

Sind die Ausprägungen der L Zielgrößen jeweils auf die im Planungszeitraum enthaltenen Planperioden bezogen, so ist das Entscheidungsproblem dadurch zu vereinfachen, daß eine neue Zielgröße vz_{ijl} durch Verdichtung der Größen z_{ijtl} gewonnen wird. Als Verdichtungsverfahren ist z.B. die Summation der Ausprägungen von Zielgrößen im Planungszeitraum möglich. Die periodenbezogene Betrachtungsweise wird so durch eine auf den Planungszeitraum bezogene Betrachtungsweise ersetzt.

Soll berücksichtigt werden, daß Ausprägungen der Zielgrößen, die zeitlich näher zum Planungszeitpunkt t=0 liegen, für den Planungsträger eine größere Bedeutung haben als Ausprägungen der Zielgrößen die zeitlich näher zum Planungshorizont liegen, so ist dieser Zeitpräferenz durch Auf- bzw. Abzinsung Rechnung zu tragen[1].

Insgesamt sind nun folgende Möglichkeiten der Verdichtung gegeben:

---

1 Zur Problematik des dann zu bestimmenden Kalkulationszinsfußes vgl. z.B. Moxter, A., Die Bestimmung des Kalkulationszinsfußes bei Investitionsentscheidungen. In: ZfhF, 13. Jg. (1963), S. 186 ff.

1. $$vz_{ijl} = \sum_{t=1}^{T} z_{ijtl}, \quad i=1,\ldots,M, \; j=1,\ldots,N, \; l=1,\ldots,L \text{ und}$$

2. $$vz_{ijl} = \sum_{t=1}^{T} z_{ijtl} \cdot q^{T-t}, \quad \text{oder}$$

3. $$vz_{ijl} = \sum_{t=1}^{T} z_{ijtl} \cdot q^{-t} \quad i=1,\ldots,M, \; j=1,\ldots,N, \; l=1,\ldots,L.$$

Da die zu verdichtenden Größen als Realisationen einer L-dimensionalen Zufallsvariablen aufzufassen sind, müssen auch die durch eine Verdichtungsvorschrift gewonnenen Werte als Realisation einer Zufallsvariablen der Dimension L betrachtet werden, die zur Unterscheidung mit VZZ bezeichnet wird.

Für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Realisation der Zufallsvariablen VZZ gilt nun:

$$p_i(VZZ = (vz_{i.1},\ldots,vz_{i.L})) = \sum_{j:v_{ijl} = v_{i.l}} \prod_{t=1}^{T} w_{jt} \quad l=1,\ldots,L.$$

Im vorliegenden Beispiel ergeben sich damit bei monovariabler Zielsetzung (L=1) die folgenden Elemente einer eindimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteiltung[1]:

$$p_1 (VZZ = 120) = 0{,}120,$$
$$p_1 (VZZ = 150) = 0{,}112,$$
$$p_1 (VZZ = 160) = 0{,}168,$$
$$p_1 (VZZ = 180) = 0{,}240,$$
$$p_1 (VZZ = 190) = 0{,}072,$$
$$p_1 (VZZ = 200) = 0{,}288.$$

---

1 Aus Gründen der Vereinfachung wurde als Verdichtungsverfahren die Summation gewählt.

Im Fall multivariabler Zielsetzung (L>1) sind die durch Verdichtung gewonnenen Größen $vz_{ijl}, l=1,\ldots,L$ wegen der stochastischen Abhängigkeiten gleichzeitig zu betrachten. Für das vorliegende Beispiel ergeben sich dann die folgenden Elemente einer dreidimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilung:

$$p_1\ (VZZ = (120,150,\ 70)) = 0{,}072,$$
$$p_1\ (VZZ = (120,190,160)) = 0{,}048,$$
$$p_1\ (VZZ = (150,190,150)) = 0{,}112,$$
$$p_1\ (VZZ = (160,230,100)) = 0{,}168,$$
$$p_1\ (VZZ = (180,240,120)) = 0{,}168,$$
$$p_1\ (VZZ = (180,200,100)) = 0{,}072,$$
$$p_1\ (VZZ = (190,150,110)) = 0{,}072,$$
$$p_1\ (VZZ = (200,230,180)) = 0{,}288.$$

Diese Ausführungen zeigen, daß durch entsprechende Methoden das Problem der Auswahl einer zielentsprechenden Entscheidung durch Beschränkung der Dimension einer Wahrscheinlichkeitsverteilung vereinfacht werden kann. Die Form der Auswertung dieser Verteilung ist dann eine Frage der anzuwendenden Entscheidungsregel. Dieser Problemkreis ist Gegenstand des nun folgenden Kapitels.

3.6. Die Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie

Wie die obigen Ausführungen zeigten, verlangt die Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie unter den hier geltenden Voraussetzungen vom Planungsträger eine Beurteilung alternativer Wahrscheinlichkeitsverteilungen der verwendeten Zielgrößen. Derartige Entscheidungen werden in der Literatur als Entscheidungen unter Unsicherheit bzw. Entscheidungen unter Risiko bezeichnet. Unterscheidungsmerkmale sind die zur Ermittlung einer Verteilung der Zielgrößen verwendeten Wahrscheinlichkeiten. Beruht die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zielgrößen auf objektiven Wahrscheinlichkeiten, so liegt im Sinne von Knight eine Entscheidung unter Risiko vor, beruht die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zielgrößen auf subjektiven Wahrscheinlichkeiten, eine Entscheidung unter Unsicherheit[1].

Die begriffliche Trennung von Entscheidungen nach dem Charakter der zur Beschreibung des Umweltverlaufs verwendeten Wahrscheinlichkeiten erscheint

---

1 Vgl. Knight, F.H., a.a.O., S. 256.

nicht sinnvoll, wenn im Planungsprozeß gleichzeitig subjektive und objektive Wahrscheinlichkeiten zur Bestimmung der Verteilung der Zielgrößen Verwendung finden müssen[1]. Es reicht daher aus, von Entscheidungen unter Unsicherheit zu sprechen, wobei die mit einer Entscheidung verbundene Unsicherheit darin zum Ausdruck kommt, daß die Ausprägungen der Zielgrößen nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu erreichen sind[2]. Unsicherheit ist jetzt nicht mehr im Sinne von Knight zu verstehen und es bleibt nun noch zu klären, wie das mit jeder Entscheidung bei Unsicherheit gleichzeitig verbundene Risiko zu definieren ist.

Teilweise wird unter dem mit einer Entscheidung verbundenen Risiko die Gefahr des Treffens einer Fehlentscheidung verstanden[3]. Unklar bleibt bei dieser Risikodefinition, wie das Risiko im Zeitpunkt der Entscheidungsfindung zu messen ist, da Fehlentscheidungen erst ex post feststellbar sind. Die Messung des Risikos verlangt demnach einen anderen als den zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung gegebenen Informationsstand bzw. die Beseitigung der Unsicherheit über die Umweltentwicklung[4].

Andere Risikodefinitionen bezeichnen das mit einer Entscheidung verbundene Risiko als Abweichung von dem Zielwert, der mit einer Strategie bei jedem Umweltverlauf mit Sicherheit zu erreichen ist[5]. In diesem Fall ist der Risikobegriff überflüssig, da der Planungsträger bezogen auf diesen Referenzpunkt nur noch Chancen hat (denn die Wahrscheinlichkeit für die Unterschreitung dieses Wertes ist definitionsgemäß Null)[6].

Sinnvoll kann das mit einer Strategie verbundene Risiko in Verbindung mit der Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Zielgröße definiert werden[7], aus

---

1 Vgl. S. 23 f.

2 Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 65 f.

3 Vgl. z.B. Wittmann, W., Unternehmung und unvollkommene Information, Köln und Opladen 1959, S. 27 ff.; Krelle, W., Präferenz- und Entscheidungstheorie, Tübingen 1968, S. 116.

4 Vgl. Drukarczyk, J., a.a.O., S. 52.

5 Vgl. z.B. Jacob, H., Zum Problem der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen, In: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 169 f.

6 Vgl. Drukarczyk, J., a.a.O., S. 52 f.

7 Vgl. auch Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 66. "Das Risiko einer Handlungsmöglichkeit äußert sich in der Wahrscheinlichkeitsverteilung ihrer Zielbeiträge".

der die entsprechende Verteilungsfunktion zu bilden ist.

Zur Quantifizierung des mit einer Strategie verbundenen Risikos bzw. der mit ihr verbundenen Chance ist für eine gegebene Verteilungsfunktion einer Zielgröße z ein Referenzpunkt z' anzugeben (vgl. Abb. 13). Die Wahrscheinlichkeit der Unterschreitung dieses Punktes /¯F(z')¯/ gibt dann das mit einer Strategie verbundene Risiko an, die Wahrscheinlichkeit des Überschreitens dieses Punktes /¯1-F(z')¯/ die mit einer Strategie verbundene Chance. Diese Definition von Risiko und Chance ist umzukehren, wenn die Wahrscheinlichkeit der Unterschreitung des Referenzpunktes positiv zu bewerten ist. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn auf der Abszisse Kosten abgetragen sind.

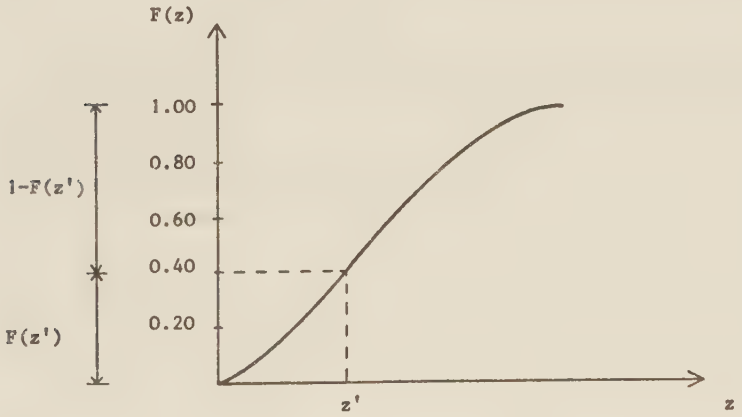


Abb. 13.: Definition von Risiko und Chance an der Verteilungsfunktion einer Zielgröße z

Die Berücksichtigung der mit den entwickelten Strategien verbundenen Risiken und Chancen erfordert einen Rückgriff auf die Risikoneigung eines Planungsträgers, da die Einstellung gegenüber der hier vorliegenden Entscheidungssituation subjektiv bestimmt ist.

Im folgenden werden Entscheidungsregeln untersucht, die eine Entscheidung über die hier vorliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermöglichen.

3.6.1. Entscheidung nach dem Bernoulli-Prinzip

Die Entscheidung nach dem Bernoulli-Prinzip ist in den Bereich normativer Modelle des Entscheidungsverhaltens einzuordnen. Gesucht wird dabei diejenige Strategie, die zum maximalen Erwartungswert des Risikonutzens führt[1]. Voraussetzung ist die Existenz einer Risikonutzenfunktion NU, die die mit einer Strategie verbundenen Zielbeiträge in die Zielgröße Risikonutzen transformiert.

Bezieht man sämtliche Umweltverläufe in die Berechnung des Erwartungswertes des Risikonutzens ein, so kann das Bernoulli-Prinzip formal wie folgt definiert werden[2]:

$$ENU^* = \max_{1 \leq i \leq M} \sum_{j=1}^{N} NU(vz_{ij1},\ldots,vz_{ijL}) \cdot \prod_{t=1}^{T} w_{jt}.$$

Diese Entscheidungsregel beruht auf einer vollständigen Auswertung der in dieser Planungsphase vorhandenen Informationen, die zu einer Nutzengröße verdichtet werden. Im Fall multivariabler Zielsetzung müssen zusätzlich die Austauschrelationen zwischen den einzelnen Zielen bekannt sein[3]. Die Risikoneigung eines Planungsträgers soll dabei durch den Verlauf der Risikonutzenfunktion erfaßt werden.

Die Entscheidung gemäß dem Bernoulli-Prinzip ergibt eine vollständige Ordnung der entwickelten Strategien und führt damit zu einer eindeutigen Entscheidung. Gegen eine Entscheidung nach dem Bernoulli-Prinzip kann daher formal nichts eingewendet werden.

Ein einwandfreier Formalismus bedeutet nun keinesfalls, daß eine Entscheidung nach dem Bernoulli-Prinzip problemlos ist bzw. daß alle Probleme einer Entscheidung unter Unsicherheit erfaßt sind.

---

1 Vgl. z.B. Menges, G., a.a.O., S. 53 ff.; Drukarczyk, J., a.a.O., S. 64.

2 Sind die Zielgrößen auf den Planungshorizont bezogen, so ist $(vz_{ij1},\ldots,vz_{ijL})$ durch $(z_{ijT1},\ldots,z_{ijTL})$ zu ersetzen.

3 Der Fall multivariabler Zielsetzung wird an dieser Stelle nicht näher untersucht, da bereits im Fall monovariabler Zielsetzung eine Reihe von Einwänden gegen das Bernoulli-Prinzip angeführt werden können. Die sich bei multivariabler Zielsetzung zusätzlich ergebenden Einwände sind Gegenstand des folgenden Kapitels.

Gegen das Bernoulli-Prinzip können eine Reihe von Einwänden erhoben werden, die seine prognostische Relevanz zweifelhaft erscheinen lassen. Diese Einwände bestehen einmal darin, daß die Lösung des Entscheidungsproblemes auf die Bestimmung der Nutzenfunktion verschoben wird, deren Kenntnis Voraussetzung für die Anwendung des Bernoulli-Prinzips ist[1]. Der größere Teil der Einwände richtet sich gegen die diesem Entscheidungskriterium zugrunde liegenden Axiome rationalen Verhaltens, die in teilweise divergierenden Axiomensystemen zusammengefaßt sind[2].

Diese Axiomensysteme definieren, was unter einer "rationalen" Entscheidung bei Unsicherheit zu verstehen ist. Axiome haben jedoch keinen Evidenzcharakter, sondern müssen zumindest im sozialwissenschaftlichen Bereich plausibel sein. Ist die Plausibilität nur eines dieser Axiome zu bezweifeln, muß eine auf diese Axiome gegründete Entscheidungslogik abgelehnt werden.

Einwände werden in erster Linie gegen das Unabhängigkeitsaxiom erhoben, das für die Ermittlung einer Risikonutzenfunktion eine entscheidende Bedeutung hat.

Die Ermittlung der Risikonutzenfunktion verlangt vom Planungsträger die Angabe eines Sicherheitsäquivalents für eine zweielementige Wahrscheinlichkeitsverteilung[3]. Sind z.B. die Gewinnchancen G_1 und G_2 mit den Wahrscheinlichkeiten p_1 und $p_2=1-p_1$ gegeben, so verlangt die Angabe eines Sicherheitsäquivalents SA eine Aussage der folgenden Form: $p_1 \cdot G_1+(1-p_1) \cdot G_2 \sim SA$, d.h. $p_1 \cdot G_1+(1-p_1) \cdot G_2$ wird SA gleichgeschätzt.

Durch mehrfache Befragung des Planungsträgers wird mit Hilfe der ermittelten Sicherheitsäquivalente eine Risikonutzenfunktion bestimmt, die die Risikoneigung des Planungsträgers erfassen soll. Diese Vorgehensweise verlangt nun, daß die Beurteilung der Einzelchance $p_1 \cdot G_1$ und $p_2 \cdot G_2$ unabhängig von den Chancen erfolgt, über die ein Planungsträger sonst noch verfügt[4]. Eben diese Unabhängigkeit der Beurteilung von Einzelchancen wird durch das Unabhängigkeitsprinzip axiomatisch unterstellt. Das Unabhängigkeitsprinzip beseitigt somit das Problem, über komplizierte Verteilungen entscheiden zu

---

1 Vgl. Drukarczyk, J., a.a.O., S. 68 ff.

2 Vgl. ebenda, S. 64 sowie die dort angeführte Literatur.

3 Vgl. z.B. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 94 ff.

4 Vgl. ebenda, S. 97.

müssen, durch Problemzerlegung[1]. An die Stelle der tatsächlichen Erfolgselemente, wie sie z.B. durch die im Planungsprozeß ermittelten Wahrscheinlichkeitsverteilungen gegeben sind, werden äquivalente Lotterien gesetzt, die vom Planungsträger zu beurteilen sind[2].

Ein wesentlicher Einwand gegen das Unabhängigkeitsprinzip besteht nun darin, daß die Unabhängigkeit der Beurteilung von Einzelchancen durch tatsächliches Verhalten nicht gedeckt wird. Dieser Einwand wird insbesondere von Allais[3] und Ellsberg[4] formuliert, die an Beispielen Verstöße gegen das Unabhängigkeitsaxiom nachweisen. Würde die Hypothese, daß die Restchancen einen Einfluß auf die Beurteilung von Einzelchancen haben, empirisch bestätigt, so wäre zumindest die deskriptive Relevanz des Unabhängigkeitsprinzips anzuzweifeln und "die auf ihnen beruhenden Teile der Lehre von Entscheidungen unter ... Ungewißheit, zumindest in ihrer gegenwärtigen Form, in Frage"[5] gestellt, d.h. der für die Lösung des Entscheidungsproblems unverzichtbaren Risikonutzenfunktion wäre die Grundlage entzogen.

Ein weiterer, ebenfalls durch das Unabhängigkeitsaxiom bedingter Einwand gegen die Risikonutzentheorie kritisiert die unvollständige Erfassung der Risikoneigung in der Risikonutzenfunktion[6]. Da die Ermittlung der Risikonutzenfunktion auf unabhängig beurteilten Einzelchancen beruht, spielt die Streuung der Erfolgselemente, die durch äquivalente Lotterien ersetzt werden, keine eigenständige Rolle bei der Ermittlung des Erwartungsnutzens[7]. Kommt bei tatsächlichen Entscheidungen der Streuung der Erfolgselemente jedoch eine eigenständige Bedeutung zu, so ist die Risikoneigung nur unvollständig erfaßt. Diese Streuungspräferenzen wurden vielfach empirisch bestätigt[8]; ihre Berücksichtigung wird durch das Unabhängigkeitsprinzip jedoch verhindert.

---

1 Vgl. Drukarczyk, J., a.a.O., S. 67.

2 Vgl. ebenda.

3 Vgl. Allais, M., Le Comportement de l'Homme Rationnel devant le Risque; Critique des Postulats et Axiomes de l'Ecole Américaine. In: Econometrica, Vol. 21 (1953), S. 503 ff.

4 Vgl. Ellsberg, D., Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms. In: QJoE, Vol. 75 (1961), S. 643 ff.

5 Menges, G., a.a.O., S. 67.

6 Vgl. Allais, M., a.a.O., S. 511.

7 Vgl. Drukarczyk, J., a.a.O., S. 71 ff.

8 Vgl. ebenda, S. 97 f.

Die Aufgabe der vollständigen Erfassung der Risikoneigung eines Entscheidungsträgers durch den Verlauf der Risikonutzenfunktion führt zu einem weiteren Problem der Risikonutzentheorie. Die Klassifizierung eines Individuums ausschließlich als risikoscheu (bei konkavem Verlauf der Risikonutzenfunktion), als risikofreudig (bei konvexem Verlauf der Risikonutzenfunktion) oder als risikoindifferent (bei linearem Verlauf der Risikonutzenfunktion) wird durch tatsächliches Verhalten i.a. nicht gedeckt; z.B. nehmen Individuen an Glücksspielen teil (risikofreudiges Verhalten) und schließen gleichzeitig Lebensversicherungen ab (risikoscheues Verhalten)[1]. Die Vielschichtigkeit der Einstellung zum Risiko kann daher sicherlich nicht ausschließlich über den Verlauf der Risikonutzenfunktion erklärt werden. Dies legt den Schluß nahe, daß die Einstellung gegenüber den in einer Entscheidungssituation sich bietenden Risiken und Chancen i.a. problemabhängig sein dürfte. Die generelle Erfassung der Risikoneigung in einer unabhängig vom Problem erstellten Risikonutzenfunktion erscheint dann nicht mehr möglich, es sei denn, man versucht eine Nutzenfunktion aufzustellen, die konkave und konvexe Elemente aufweist[2]. In diesem Fall kann jegliches Verhalten gegenüber risikobehafteten Situationen durch den Verlauf der Risikonutzenfunktion erklärt werden. Auf diese Weise wird zwar allen Widersprüchen zu tatsächlichem Verhalten aus dem Wege gegangen[3], jedoch besteht dann allerdings die Gefahr, daß die Risiko-Nutzen-Theorie inhaltsleer wird, "denn was an der Realität nicht scheitern kann, sagt schließlich nichts /mehr/ über Realität aus"[4].

Die obigen Ausführungen zeigten, daß zumindest der prognostische Wert der Risikonutzentheorie bezweifelt werden kann, da tatsächliches Verhalten in vielen Fällen dem axiomatisch begründeten und geforderten Verhalten widerspricht. Die Axiome der Risikonutzentheorie liefern sicherlich eine logische konsistente Definition von "Rationalität" und damit bei Kenntnis der Nutzenfunktion einen Bezugspunkt zur Überprüfung von Entscheidungen. Die Klassifizierung von Entscheidungen, die gegen die Axiome verstoßen, als "irrational" ist jedoch nur vom Standpunkt der Risikonutzentheorie her möglich.

---

1 Vgl. Drukarczyk, J., a.a.O., S. 83 ff.

2 Vgl. Friedman, M. und Savage, L.J., The Utility Analysis of Choices Involving Risk. In: Readings in Price Theory, Hrsg. G.J. Stigler und K.E. Boulding, London 1960, S. 57 ff.

3 Vgl. dazu Drukarczyk, J., a.a.O., S. 131.

4 Ebenda.

Im folgenden Kapitel wird nun gezeigt, daß auch bei einem Verzicht auf die vollständige Ordnung der Strategien eine eindeutige Entscheidung möglich ist.

3.6.2. Entscheidung nach dem Anspruchsanpassungsprinzip

Die Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie bei Vorgabe eines Anspruchsniveaus zielt nicht auf die Ermittlung der optimalen, sondern einer befriedigenden Strategie. Befriedigend ist eine Strategie, die dem Anspruchsniveau genügt. Wird eine derartige Strategie nicht gefunden, so ist entweder das Anspruchsniveau zu senken oder die Suche nach weiteren Strategien fortzusetzen. Erfüllen mehrere Strategien das Anspruchsniveau, so ist das Anspruchsniveau zu erhöhen. Durch die Kombination von Anspruchsniveauanpassung und Strategiesuche wird sichergestellt, daß eine eindeutige Entscheidung möglich ist.

Da als Entscheidungsgrundlage unter den hier geltenden Bedingungen nun keine deterministischen Ausprägungen der Zielgrößen, sondern Wahrscheinlichkeitsverteilungen vorliegen, ist das Anspruchsanpassungsprinzip für diesen Fall zu erweitern[1]. Dieses ist ohne weiteres möglich, wenn der Planungsträger bereit und in der Lage ist, die Formulierung des Anspruchsniveaus um eine zusätzliche Angabe zu ergänzen. Da die Ausprägungen einer oder mehrerer Zielgrößen nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten können, ist die Angabe des Anspruchsniveaus um einen Wert für die Wahrscheinlichkeit zu ergänzen, mit der das vorgegebene Anspruchsniveau höchstens unterschritten werden darf. Diese Unterschreitungswahrscheinlichkeit kann als das Risiko interpretiert werden, das der Planungsträger höchstens einzugehen gewillt ist (Risikogrenze).

Die Fixierung dieser Risikogrenze kann nun problem- und situationsabhängig durch den Planungsträger erfolgen, wobei alle Determinanten, die das Risikoverhalten bestimmen, in die Bestimmung dieser Risikogrenze einfließen können. Damit wird vermieden, daß die Risikoneigung unabhängig vom Problem einmalig und endgültig erfaßt wird. Überprüfbarkeit der Entscheidung ist bei Kenntnis der Risikogrenze ebenfalls gegeben.

---

1 Vgl. dazu auch Witte, T., a.a.O., S. 204 ff.

Zur Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie sind aus den in dieser Planungsphase vorliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen zunächst die Verteilungsfunktionen zu bilden. Nach Angabe des Anspruchsniveaus und der ebenfalls anzugebenden Risikogrenze ist nun zu prüfen, ob unter den entwickelten Strategien eine Strategie zu finden ist, die diesen Bedingungen genügt. Diese Vorgehensweise wird zunächst für den Fall monovariabler Zielsetzung dargestellt.

Angenommen, dem Entscheidungsträger liegen für eine Zielgröße die in Abb. 14 dargestellten Verteilungsfunktionen $F_i(z)$ dreier Strategien X_i vor. Weiter wird unterstellt, daß Zielverbesserungen auf der Abszisse in positiver Richtung gemessen werden und ein Anspruchsniveau AS mit einer Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 0,20 gegeben ist.

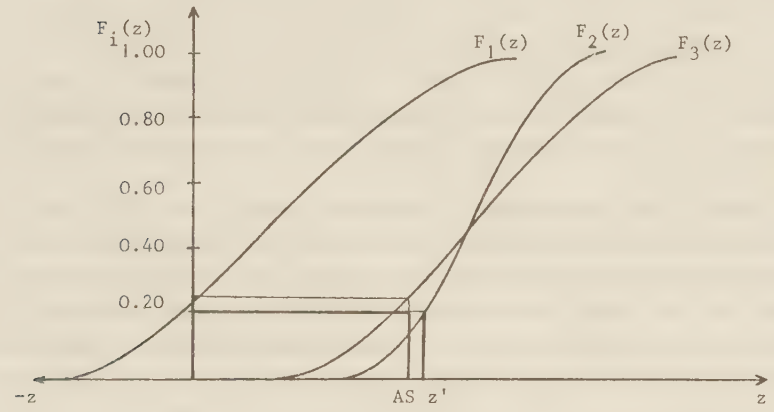


Abb. 14.: Strategieauswahl auf der Grundlage von Anspruchsniveau[1] und Risikogrenze

Aus der Abb. 14 ist nun zunächst zu ersehen, daß die Verteilungsfunktion $F_1(z)$ wegen der stochastischen Dominanz von $F_2(z)$ und $F_3(z)$ aus der Betrachtung ausgeschlossen werden kann[2]. Die Analyse ist deshalb auf die

1 Aus Gründen der Vereinfachung wird von stetigen Verteilungsfunktionen ausgegangen. Werden diskrete Verteilungsfunktionen vorgegeben, so ist ein entsprechendes Intervall zu suchen, das den angegebenen Bedingungen genügt.

2 Zum Begriff der stochastischen (probabilistischen) Dominanz vgl. z.B. Raiffa, H., a.a.O., S. 295 f.

Verteilungsfunktionen $F_2(z)$ und $F_3(z)$ zu beschränken. Für $F_3(z)$ gilt unter den angegebenen Bedingungen, daß die Risikogrenze von 0,20 überschritten wird, d.h. es gilt:

$$F_3(AS) = W_3(z \leq AS) > 0{,}20.$$

Damit kann auch die Verteilungsfunktion $F_3(z)$ ausgeschlossen werden. Die zielentsprechende Strategie ist damit die Strategie X_2, deren Verteilungsfunktion $F_2(z)$ den angegebenen Bedingungen genügt; denn für das vorgegebene Anspruchsniveau AS ist sichergestellt, daß die Risikogrenze nicht überschritten wird, d.h. es gilt:

$$F_2(AS) = W_2(z \leq AS) < 0{,}20.$$

Ebenso ist erfüllt, daß bei der angegebenen Risikogrenze ein Zielwert z' realisiert werden kann, der das Anspruchsniveau nicht unterschreitet, d.h.:

$$\text{für } F_2(z') = 0{,}20 \text{ gilt } z' > AS.$$

Der Planungsträger kann daher sein Anspruchsniveau AS bei der vorgegebenen Risikogrenze von AS auf z' erhöhen.

Die hier beschriebene Vorgehensweise führt durch partiellen Vergleich der Verteilungsfunktionen, bezogen auf einen durch das Anspruchsniveau und Unterschreitungswahrscheinlichkeit gegebenen Referenzpunkt, zu einer eindeutigen Rangfolge der Verteilungsfunktionen; denn bezogen auf den Referenzpunkt gilt $F_2(Z) > F_3(Z) > F_1(Z)$. Damit ist bei gegebenen Verteilungsfunktionen eine eindeutige und überprüfbare Entscheidung gegeben.

Das hier beschriebene Verfahren ist unter Umständen durch eine weitere Stufe zu ergänzen. Dies ist dann notwendig, wenn eine Strategie zwar den durch Anspruchsniveau und Unterschreitungswahrscheinlichkeit gegebenen Bedingungen genügt, der Bereich unterhalb des Anspruchsniveaus jedoch einen Zielwert einschließt, der unter keinen Umständen für einen Planungsträger akzeptabel ist, weil z.B. in diesem Bereich die Existenz der Unternehmung gefährdet ist. In diesem Fall sind in einer ersten Stufe der Alternativenauswahl die Strategien auszuschließen, deren Verteilungsfunktionen einen vorzugebenden kritischen Wert einschließen[1]. Die zweite Stufe der Alterna-

1 Diese Vorgehensweise führt damit zum Ausschluß von existenzgefährdenden Strategien und entspricht, wenn auch in einem anderen Zusammenhang, der von D. Schneider geforderten Beschränkung der Risikonutzenfunktion. Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 100 f.

tivenauswahl ist dann gemäß dem oben beschriebenen Verfahren durchzuführen, wobei unter Umständen Anspruchsanpassungen erforderlich sind.

Das hier beschriebene Verfahren kann nun, wie im folgenden gezeigt wird, ohne weiteres auf den Fall multivariabler Zielsetzung übertragen werden. Bei multivariabler Zielsetzung ist statt eines Anspruchsniveaus ein Anspruchsniveaubündel bezüglich der verfolgten Ziele zu bilden. Ebenfalls ist ein Wert für die Wahrscheinlichkeit festzulegen, mit der dieses Anspruchsniveaubündel höchstens unterschritten werden darf (Risikogrenze).

Im Gegensatz zur Risikonutzentheorie sind bei der Entscheidung nach dem Anspruchsanpassungsprinzip Austauschrelationen zwischen den Zielen, die Voraussetzung der Umrechnung von Zielausprägungen in eine Nutzengröße sind, nicht notwendig[1]. Der entscheidende Vorteil des Anspruchsanpassungsprinzips ist deshalb in der einfacheren Möglichkeit einer Berücksichtigung mehrerer Ziele zu sehen, und gerade die Bewältigung dieser Entscheidungssituation ist in vielen Fällen wesentlich. Denn einmal ist empirisch bestätigt, daß in praktischen Planungsfällen mehr als nur ein Ziel verfolgt wird[2], und zum anderen ermöglicht das Anspruchsanpassungsprinzip eine an die kognitiven Fähigkeiten eines Planungsträgers besser angepaßte Vorgehensweise.

Die Ermittlung der zielentsprechenden Strategie bei multivariabler Zielsetzung gemäß dem Anspruchsanpassungsprinzip entspricht nun im wesentlichen der Vorgehensweise bei monovariabler Zielsetzung. Da die Ausprägungen der Ziele nicht unabhängig voneinander realisiert werden können, ist zunächst aus der im Planungsprozeß gewonnenen L-dimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilung die entsprechende L-dimensionale Verteilungsfunktion zu bilden. Für das anzugebende Anspruchsniveaubündel ist dann zu prüfen, ob es eine Strategie gibt, die sowohl dem formulierten Anspruchsniveaubündel als auch der anzugebenden Risikogrenze RG genügt. Für L Zielgrößen $Z_1,\ldots,Z_L$ ist

---

1 Es ist fraglich, ob derartige Austauschrelationen von einem Planungsträger überhaupt angegeben werden können. Denn einmal verlangt die Angabe dieser Austauschrelationen eine transitive Wertordnung, zum anderen besteht die Gefahr, daß die Wertordnung zementiert wird. Dies widerspricht tatsächlichem Verhalten, denn die Bedeutung der verfolgten Ziele schwankt im Zeitablauf und hängt u.a. davon ab, in welchem Umfang einzelne Ziele bereits befriedigt sind. Vgl. hierzu z.B. Luhmann, N., a.a.O., S. 22 ff.; Cyert, R.M. und March, J.G., A Behavioral Theory of the Firm, Englewood Cliffs, N.J., 1963, S. 118.

2 Vgl. z.B. Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung, a.a.O., S. 26 ff.

daher zu prüfen, ob gilt[1]:

$$F(z_1,\ldots,z_L) = W(z_1 \leq AS_1,\ldots,z_L \leq AS_L) \leq RG.$$

Ist unter den bereits entwickelten Strategien keine zu finden, die den geforderten Bedingungen entspricht, so ist entweder die Strategiensuche fortzusetzen oder aber im Wege der Anspruchsniveauanpassung eine Senkung der Anspruchsniveaus vorzunehmen. Im Fall multivariabler Zielsetzung kann sich dabei die Anspruchsanpassung entweder auf alle im Anspruchsbündel enthaltenen Zielgrößen beziehen oder aber auf eine Teilmenge. Unter Umständen ist bereits durch Senkung eines einzelnen Anspruchsniveaus eine zulässige Strategie zu finden. Ob ein Planungsträger hierzu bereit ist, hängt dann von der Bedeutung des betreffenden Ziels ab.

Die Anwendung des Anspruchsanpassungsprinzips führt damit auch im Fall multivariabler Zielsetzung zu einer eindeutigen und überprüfbaren Entscheidung. Voraussetzung ist die Kenntnis der Verteilungsfunktion der Zielgrößen sowie des Anspruchsniveaubündels und der Risikogrenze.

Vergleicht man nun das Bernoulli-Prinzip und das Anspruchsanpassungsprinzip, so zeigen sich bei einer Entscheidung nach dem Anspruchsanpassungsprinzip folgende Vorteile:

1. Die Verdichtung der Erfolgselemente zu einer schwer interpretierbaren Nutzengröße unterbleibt. Dem Planungsträger wird statt dessen eine Verteilungsfunktion vorgelegt, die alle mit einer Strategie verbundenen Risiken und Chancen zeigt.
2. Entscheidungen bei multivariabler Zielsetzung werden erheblich vereinfacht. Im Gegensatz zur Risikonutzentheorie kann auf die Angabe von Austauschrelationen zwischen den verfolgten Zielen verzichtet werden.

Die Anforderungen an die Transitivität der Wertordnung sind damit geringer und den Schwankungen der Bedeutung von Zielen im Zeitablauf kann unmittelbar Rechnung getragen werden. Änderungen der Bedeutung einzelner Ziele im Zeitablauf verlangen dagegen im Rahmen der Risikonutzentheorie eine ständige Anpassung des Wertsystems an wechselnde Bedingungen. Es ist fraglich, ob dann die axiomatisch geforderte Transitivität der Wertordnung

---

1 Die Auswertung der Verteilungsfunktion ist nun allerdings im Fall L>2 nicht mehr grafisch möglich, sondern kann nur tabellarisch erfolgen.

erhalten bleiben kann, denn die ständige Anpassung würde letztlich eine Blockierung der Entscheidungskapazität bewirken.

3.7. *Anforderungen an Modelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung*

Aufgabe und Ziel des Teils B dieser Arbeit war die Darstellung der Struktur eines Planungsproblems aus dem Bereich langfristiger Unternehmungsplanung. Dabei wurde auf spezifische Probleme eines bestimmten Planungsbereichs zunächst nicht eingegangen, weil es aus der Sicht einer an praktischen Problemen orientierten Betriebswirtschaftslehre vielmehr wesentlich und zweckmäßig ist, zunächst die Problemstruktur zu erfassen und dann situations- und problemadäquate Modelle zu entwickeln und nicht für bereits vorhandene Modellstrukturen die geeigneten, aber i.a. praxisfernen Probleme zu suchen.

Es zeigte sich, daß die am Problemlösungsprozeß orientierten Modelle des Entscheidungsverhaltens eine geeignete Grundlage zur Analyse des Planungsprozesses bilden, da sie von Situationen ausgehen, die in ihren wesentlichen Merkmalen einer realen Planungssituation entsprechen. Die Orientierung eines Planungsprozesses an einem Phasenschema ist zweckmäßig, da die einbezogenen Einzelaktivitäten auch in realen Planungsprozessen zu beobachten sind. Sie führt zu einer sachlogischen Gliederung des Planungsprozesses, kann jedoch nicht als zeitlich starres Ablaufschema oder Norm effizienten Planungsverhaltens interpretiert werden.

Die Orientierung des Planungsprozesses am Problemlösungsprozeß führt zwangsläufig zu einer Auseinandersetzung mit den Problemen der Informationsgewinnung, Alternativengenerierung und Alternativenbewertung. Die Berücksichtigung der begrenzten kognitiven Fähigkeiten eines Planungsträgers erfordert, wie gezeigt wurde, die Anwendung von Maßnahmen, die zu einer Reduktion der Problemkomplexität führen und erfordert weiter die Angabe einer Entscheidungsregel, die an die kognitiven Fähigkeiten des Planungsträgers angepaßt ist.

In allgemeiner Form ist ein Planungsproblem zunächst durch die Umweltverläufe, die ihnen zugeordneten Wahrscheinlichkeiten sowie die vom Planungsträger entwickelten Strategien charakterisiert. Ein geeignetes Modell ordnet diesem Modellinput Ergebnisse zu, die wegen des stochastischen Charakters der Umweltverläufe Zufallsgrößen sind. In Abhängigkeit vom

Planungsverfahren sind für die verwendeten Zielgrößen ein- bzw. mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu bilden. Die Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie erfolgt mit Hilfe einer geeigneten Entscheidungsregel. Es wurde gezeigt, daß bei Anwendung des Anspruchsanpassungsprinzips auch bei multivariabler Zielsetzung eine eindeutige und überprüfbare Entscheidung möglich ist, die der Risikoneigung des Planungsträgers Rechnung trägt.

Im folgenden Teil C dieser Arbeit werden die zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung vorhandenen Modelle der mathematischen Programmierung mit Hilfe eines einfachen Beispiels aus dem Bereich der Kapitaldisposition bezüglich ihrer Übereinstimmung mit der hier entwickelten Problemstruktur untersucht. Es wird sich zeigen, daß bei Modellen der mathematischen Programmierung die Rechenbarkeit nur durch Veränderung des Problems gewährleistet werden kann. Im Anschluß daran wird als Alternative zu diesen Modellen die Simulationsmethode untersucht und es werden Modellstrukturen für Planungssituationen mit und ohne zukünftigen Handlungsspielraum entwickelt.

Die Überprüfung von Modellen zur langfristigen Unternehmungsplanung ist ohne einen entsprechenden Bezugsrahmen nicht möglich. Dieser Bezugsrahmen kann in Form von Anforderungen entwickelt werden, die sich aus der hier zugrundegelegten Struktur eines allgemeinen Planungsproblem ergeben. Diese Anforderungen werden im folgenden dargestellt.

Eine qualitative Unterscheidung alternativer Umweltzustände erscheint i.a. bei der Ermittlung problemrelevanter Umweltverläufe sinnvoll zu sein. Bei der anschließenden Quantifizierung der den qualitativ unterschiedenen Umweltzuständen zuzuordnenden Einflußgrößen ist von Intervallschätzungen auszugehen, weil sie eine realistische Form der Erfassung unsicherer Einflußgrößen darstellen. Als erste Anforderung an ein Planungsmodell ergibt sich damit die Fähigkeit zur Verarbeitung situationsgerechter Informationsmengen, wie sie i.a. durch Intervallschätzungen gegeben sind.

Die vom Planungsträger zu entwickelnden Strategien können qualitativ nach Strategien mit und ohne Handlungsspielraum in der Zukunft unterschieden werden. Bei gegebenem Handlungsspielraum ergibt sich als zweite Anforderung an ein Planungsmodell die Fähigkeit zur Erfassung und zielgerechten Berücksichtigung dieses Handlungsspielraums.

Bei Berücksichtigung der den Umweltverläufen zugeordneten Wahrscheinlichkeiten zeigte sich, daß nach entsprechender Verarbeitung der Ergebnismengen ein- bzw. mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilungen vorliegen. Die hieraus zu bildenden Verteilungsfunktionen sind geeignet, die mit einer Strategie verbundenen Risiken und Chancen aufzuzeigen. Als dritte Anforderung an ein Planungsmodell ergibt sich folglich die Fähigkeit zur Ermittlung der mit den untersuchten Strategien verbundenen Verteilungen der Zielgrößen, da nur so eine umfassende Information des Planungsträgers sicherzustellen ist.

Die eben formulierte Anforderung der Bildung problemadäquater Ergebnisverteilungen erfordert den Verzicht auf Manipulationen an der Problemstruktur. Bei der Formalisierung eines Planungsproblems ist folglich problemadäquat und nicht modelladäquat vorzugehen. Als vierte Anforderung an ein Planungsmodell ergibt sich demnach die Fähigkeit zur Erfassung des Planungsproblems in einer problemgerechten Art und Weise.

Die zeitliche Ausdehnung des Problemfeldes im Rahmen langfristiger Planung erfordert Modelle, die die zeitliche Verknüpfung der Entscheidungsvariablen berücksichtigen und die weiter das Verhalten eines Systems im Zeitablauf erfassen. Als fünfte Anforderung ergibt sich damit, daß Planungsmodelle zur Unterstützung langfristiger Planung selbstverständlich dynamische Konstruktionen sein müssen.

C. *Modelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung*

1. *Modelle der mathematischen Programmierung zur Ermittlung optimaler Strategien*

Im folgenden werden zunächst Modelle der mathematischen Programmierung dargestellt und überprüft, in welchem Umfang sie den im Teil B entwickelten Anforderungen an Modelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung entsprechen. Zur Darstellung der Modellstruktur wird ein einfaches Beispiel verwendet, dessen enge Prämissen allerdings ohne weiteres aufgehoben werden können. Dieses Beispiel genügt aber, die entsprechenden Modellstrukturen aufzuzeigen, und es lassen sich bereits an diesem einfachen Beispiel Divergenzen zwischen Problem- und Modellstrukturen nachweisen.

1.1. *Deterministische Planungsmodelle*

Modelle, die bei der Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie nur einen Umweltverlauf aus der Menge der möglichen Umweltverläufe berücksichtigen, werden als determinstische Modelle bezeichnet. Sie unterstellen folglich den Fall der Sicherheit.

Zur Darstellung eines deterministischen Modells wird nun von folgendem Beispiel ausgegangen: Ein Produkt wird in einem einstufigen Produktionsprozeß hergestellt. Hierzu wird eine bestimmte Anzahl funktions- und kostengleicher Anlagen gleicher Kapazität (KAP) benötigt, die für einen mehrperiodigen Planungszeitraum 0-T jeweils zu Beginn einer Planperiode zu einem Betrag von A beschafft und direkt eingesetzt werden können. Die Nutzungsdauer aller zu beschaffenden Anlagen endet am Planungshorizont und der Liquidationserlös im Zeitpunkt T ist mit Null anzusetzen. Das herzustellende Produkt erbringt je ME in jeder Periode eine Deckungsspanne DS.

Der insgesamt erzielte Deckungsbeitrag fällt als Einnahme jeweils am Ende einer Planungsperiode an. Das Produkt ist jeweils mit einer Absatzhöchstmenge (AB_t) je Periode absetzbar, wobei die in einer Periode produzierte Menge Y_t in der gleichen Periode abgesetzt wird; d.h. Lagerhaltung ist ausgeschlossen. Zur Finanzierung der zu beschaffenden Anlagen kann zu einem festen Zinssatz ZK ein Kredit KA_t im Zeitpunkt t in ausreichender Höhe aufgenommen werden, der jeweils im Zeitpunkt t+1 einschließlich Zinsen zurückzuzahlen ist. Finanzielle Überschüsse FA_t können im Zeitpunkt t zu einem festen Zinssatz ZA am Kapitalmarkt angelegt werden und fließen

im Zeitpunkt t+1 einschließlich Zinsen zurück. Zum Planungszeitpunkt sind Eigenmittel in Höhe von EM vorhanden. Entnahmen sind nicht beabsichtigt. Für eine gegebene Absatzsituation ist nun die Anzahl der zu den Zeitpunkten t=0,...,T-1 zu beschaffenden Maschinen X_t so zu bestimmen, daß am Planungshorizont ein maximales Endvermögen V_T anfällt[1].

Das vorliegende Problem kann nun als gemischt ganzzahliges lineares Programmierungsproblem wie folgt formuliert werden:

(1) Zielfunktion

$$V_T \rightarrow \max!$$

(2) Absatzrestriktionen

$$Y_t \leq AB_t, \quad t=1,\ldots,T$$

(3) Kapazitätsrestriktionen

$$Y_t \leq KAP \cdot \sum_{t'=0}^{t-1} X_{t'}, \quad t=1,\ldots,T.$$

(4) Liquiditätsbedingungen

$$A \cdot X_0 - KA_0 + FA_0 = EM, \quad t=0.$$

$$A \cdot X_t - DS \cdot Y_t + (1+ZK) \cdot KA_{t-1} - KA_t + FA_t - (1+ZA) \cdot FA_{t-1} = 0, t=1,\ldots,T-1.$$

$$(1+ZK) \cdot KA_{T-1} - (1+ZA) \cdot FA_{T-1} - DS \cdot Y_T + V_T = 0, t=T.$$

(5) Nichtnegativitätsbedingungen

$$X_t \geq 0, \quad t=0,\ldots,T-1;$$

$$Y_t \geq 0, \quad t=1,\ldots,T;$$

$$KA_t \geq 0, \quad t=0,\ldots,T-1;$$

$$FA_t \geq 0, \quad t=0,\ldots,T-1.$$

(6) Ganzzahligkeit

X_t ganzzahlig!

---

1 Unter den im Beispiel geltenden Prämissen ist die Endvermögensmaximierung problemlos. Denn alle Anlagemöglichkeiten im Planungszeitraum sind berücksichtigt und das Endvermögen fällt in liquider Form am Planungshorizont an. Damit entfällt auch das Problem der Bewertung des Endvermögens am Planungshorizont.

Die Lösung dieses Problems mit Hilfe eines Algorithmus der gemischt ganzzahligen Programmierung ergibt dann die zielentsprechende Strategie $\{X_0, X_1, \ldots, X_{T-1}\}$, die zum maximalen Endvermögen führt.

Durch entsprechende Erweiterung des Modells ist eine Differenzierung nach Erfolgs- und Zahlungsströmen, eine differenzierte Einbeziehung des Produktionsbereichs, die Berücksichtigung von Steuern, eine nach Kapitalarten differenzierte Erfassung des Finanzbereichs, usw. ohne weiteres möglich. Ebenso ist die Verwendung anderer Zielfunktionen denkbar.

Die Möglichkeit der Formulierung sogenannter Totalmodelle, die alle Aktivitäten einer Unternehmung simultan erfassen und optimale Aktivitätsniveaus der einbezogenen Entscheidungsvariablen bestimmen, ist durch Beispiele aus der Literatur hinlänglich bekannt[1]. Zu fragen ist allerdings, ob mathematische Programmierungsansätze einen wesentlichen Beitrag zur Lösung praktischer Probleme langfristiger Unternehmungsplanung darstellen können.

Gegen eine Anwendung der gemischt-ganzzahligen Programmierung gerade bei langfristiger Unternehmungsplanung sind nämlich folgende Einwände zu erheben:

1. Mit heute verfügbaren Algorithmen lassen sich - auch bei Einsatz von Rechenanlagen der z.Zt. installierten verbesserten 3. Generation - bei einem realistischen Problemumfang bekanntlich keine vertretbaren Rechenzeiten erreichen. Auch wenn dieses Argument im Zeitablauf durch den technischen Fortschritt bedeutungslos würde, blieben, wie im folgenden gezeigt wird, auch bei vertretbaren Rechenzeiten wesentliche Divergenzen zwischen Problem- und Modellstruktur bestehen.
2. Deterministische Modelle abstrahieren von den Problemen der Unsicherheit. Die Optimalität der Lösung bezieht sich daher nur auf einen der alternativ möglichen Umweltverläufe; d.h. die Lösung ist nur dann optimal, wenn der zugrundegelegte Umweltverlauf auch tatsächlich eintritt. Die mehrmalige Bestimmung "optimaler" Strategien und die Übertragung

---

1 Vgl. z.B. Jacob, H., Neuere Entwicklungen in der Investitionsrechnung, Wiesbaden 1964; Hax, H., Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe der linearen Programmierung. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 430 ff.; Haegert, L., Der Einfluß der Steuern auf das optimale Investitions- und Finanzierungsprogramm, Wiesbaden 1971; Waldmann, J., a.a.O., S. 76 ff.

der Ergebnisse auf einen Entscheidungsbaum, mit dessen Hilfe dann die endgültige Entscheidung festgelegt wird, dürfte zwar eine Verbesserung ergeben, jedoch verbleibt dann immer noch das Problem der Verarbeitung von Intervallschätzungen bezüglich der problemrelevanten Umweltvariablen.

3. Bei nicht-linearen Zusammenhängen erzwingt die Linearität der zu formulierenden Gleichungen bzw. Ungleichungen Manipulationen an der Problemstruktur. Der Hinweis, dieses Problem könnte durch stückweise Linearisierung nichtlinearer Funktionen beseitigt werden[1], hat kaum praktisches Gewicht, denn diese Vorgehensweise führt einmal zu einer erheblichen Aufblähung des Modells und kann weiter dazu führen, daß die Ermittlung eines globalen Optimums nicht mehr zu garantieren ist[2].

4. Verteilungen der Zielgrößen, die über die mit einer Strategie verbundenen Risiken und Chancen informieren, sind mit deterministischen Modellen selbstverständlich nicht zu erhalten, denn die Lösung eines linearen Programmierungsmodells liefert für einen zugrundegelegten Umweltverlauf nur einen Zielfunktionswert.

Diese Argumente gegen die Anwendung linearer bzw. gemischt-ganzzahliger linearer Programmierungsansätze bezwecken nun keinesfalls eine generelle Ablehnung dieses Instrumentariums. Bei Problemen, deren Struktur den Voraussetzungen der linearen Programmierung entspricht, steht einer Anwendung der linearen Programmierung natürlich nichts im Wege. Der Sinn ihrer Anwendung ist jedoch dann zu bezweifeln, wenn, wie hier, die Problemstruktur den Anforderungen des Algorithmus nicht entspricht und die Rechenbarkeit des Problems nur durch Manipulationen an der Problemstruktur zu erreichen ist.

1.2. *Stochastische Planungsmodelle*

Im Gegensatz zu deterministischen Modellen wird in stochastischen Modellen die Unsicherheit über zukünftige Datenentwicklungen berücksichtigt. Bevor

---

1 Vgl. z.B. Hax, H. und Laux, H., Flexible Planung - Verfahrensregeln mit Entscheidungsmodellen für die Planung bei Ungewißheit. In: ZfbF, 24. Jg. (1972), S. 335.

2 Bei nichtlinearen Restriktionen ist die Ermittlung des globalen Optimums nur unter bestimmten Bedingungen möglich. Vgl. dazu z.B. Hadley, G., Nichtlineare und dynamische Programmierung, Würzburg und Wien, 1969, S. 137 ff.

ein entsprechendes Modell dargestellt wird, ist zunächst zu präzisieren, was im folgenden unter einem stochastischen Modell verstanden wird. Zur Verdeutlichung wird dabei die folgende Differenzengleichung verwendet, die die zeitliche Entwicklung der Forderungen (FO) in Abhängigkeit von der Entwicklung der Umsätze (UM) und der Zahlungseingänge (ZE) zeigt:

$$FO_{t+1} = FO_t + UM_t - ZE_t.$$

Für bekannte Werte FO_t, UM_t und ZE_t ermittelt diese Differenzengleichung genau einen Wert FO_{t+1}. Diese kausale Beziehung zwischen den Größen FO_{t+1} sowie FO_t, UM_t und ZE_t bleibt erhalten, wenn z.B. UM_t und ZE_t Zufallsvariable sind, die nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten können. Zur Ermittlung der Größe FO_{t+1} sind dann bei gegebenem Anfangsbestand FO_t Realisationen der Zufallsvariablen UM_t und ZE_t zugrundezulegen, d.h. zu rechnen ist deterministisch. Die Größe FO_{t+1} ist dann ebenfalls eine Zufallsvariable, deren Ausprägungen nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten.

Stochastische Modelle sind folglich Modelle mit zufallsabhängigem Dateninput und ebenfalls zufallsabhängigem Datenoutput, jedoch mit deterministischen Variablenverknüpfungen[1].

Die Darstellung stochastischer Modelle zur langfristigen Unternehmungsplanung wird im folgenden auf das Modell der flexiblen Planung beschränkt, da flexible Planungsmodelle prinzipiell für die Behandlung mehrstufiger Entscheidungsprobleme bei Unsicherheit besser geeignet sind als z.B. Methoden des chance-constrained-programming, der stochastischen linearen Programmierung sowie der linearen Programmierung unter Unsicherheit[2].

1.2.1. Flexible Planung mit Hilfe der linearen Programmierung

Zur Darstellung der Modellstruktur eines sogenannten flexiblen Planungsmodells wird auf das in Kapitel C 1.1. verwendete Beispiel zurückgegriffen. Die Unsicherheit über die Datenentwicklung wird auf die Entwicklung der Absatzhöchstmengen beschränkt. Ansonsten werden die übrigen Prämissen beibehalten.

---

1 Vgl. hierzu auch Harbordt, S., a.a.O., S. 22 f.

2 Zu dieser Beurteilung der angeführten Methoden vgl. auch: Lassak, H.P., Kapitalbudget. Unsicherheit und Finanzierungsentscheidung, Meisenheim am Glan 1973.

Generelle Grundlage für die Formulierung eines flexiblen Planungsmodells mit Hilfe der gemischt-ganzzahligen linearen Programmierung ist ein Zustandsbaum. Zur Erläuterung der für die Modellformulierung notwendigen Indexmengen diene der folgende Zustandsbaum, mit dessen Hilfe die Erwartungsstruktur eines Planungsträgers über die möglichen Umweltverläufe dargestellt werden kann und dessen Knoten fortlaufend mit einem Knotenindex z durchnummeriert sind (vgl. Abb. 15).

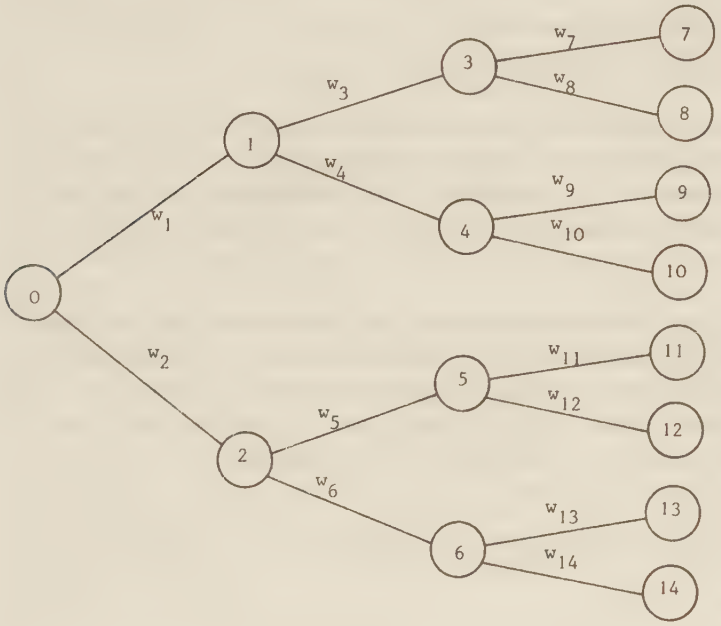


Abb. 15: Zustandsbaum für ein Beispiel zur flexiblen Planung

Die Menge aller den Umweltzuständen zugeordneten Indizes wird mit Z bezeichnet; im vorliegenden Beispiel gilt also $Z=\{0,1,\ldots,14\}$. Die Indexmenge der in einem Zeitpunkt t möglichen Zustände wird mit Z_t bezeichnet; z.B. gilt $Z_2=\{3,4,5,6\}$. Die Vereinigungsmenge aller Z_t, für $t=0,\ldots,3$ ergibt wieder Z; d.h. $Z_0 \cup Z_1 \cup \ldots \cup Z_3=Z$. Zur Kennzeichnung eines Kantenzuges im Zustandsbaum wird die Menge Z_α^z verwendet, die alle Indizes auf einem Weg vom Zustand α zum Zustand z enthält; z.B. gilt $Z_0^3=\{0,1,3\}$.

Den im Zustandsbaum erfaßten Umweltzuständen $z \in Z$ sind nun alle Variablen und Daten des Problem zuzuordnen. Es ergibt sich für die allgemeine Formulierung des Problems deshalb eine andere Indizierung der Variablen und Daten als beim deterministischen Problem. Daher werden die verwendeten Sym-

bole noch einmal aufgeführt:

X_z - Anzahl der zu beschaffenden Anlagen in einem Zustand $z, z\varepsilon\ Z_0 \cup Z_1 \cup \ldots \cup Z_{T-1}$

Y_z - Absatzmenge des herzustellenden Produktes in einem Zustand $z, z\varepsilon\ Z_1 \cup \ldots \cup Z_T$

FA_z - Finanzinvestition in einem Zustand $z, z\varepsilon\ Z_0 \cup Z_1 \cup \ldots \cup Z_{T-1}$

KA_z - Kreditaufnahme in einem Zustand $z, z\varepsilon\ Z_0 \cup Z_1 \cup \ldots \cup Z_{T-1}$

AB_z - Absatzhöchstmenge in einem Zustand $z, z\varepsilon\ Z_1 \cup Z_2 \cup \ldots \cup Z_T$

Da für die übrigen Daten des Problems Sicherheit unterstellt war, kann auf die Zuordnung dieser Werte zu einzelnen Umweltzuständen verzichtet werden. Für die Deckungsspanne, die Zinssätze und die Anschaffungsauszahlung können deshalb die Symbole des deterministischen Modells unverändert übernommen werden.

Bei der Formulierung der Nebenbedingungen ist nun ebenso wie im deterministischen Modell der zeitliche Zusammenhang zwischen den einzelnen Variablen zu berücksichtigen, da die in den Umweltzuständen $z\varepsilon\ Z_0 \cup Z_1 \cup \ldots \cup Z_{T-1}$ zu fällenden Entscheidungen voneinander abhängig sind. Mit z^* wird deshalb jeweils der Zustand bezeichnet, der einem Zustand $z\varepsilon\ Z_1 \cup Z_2 \cup \ldots \cup Z_T$ unmittelbar vorausgeht.

Die Nebenbedingungen des Problems können nun wie folgt formuliert werden:

(1) Absatzrestriktionen

$$Y_z \leq AB_z,\ z\varepsilon\ Z_1 \cup Z_2 \cup \ldots \cup Z_T\ .$$

(2) Kapazitätsrestriktionen

$$Y_z \leq KAP \cdot \sum_{z'} X_{z'},\ z'\varepsilon\ Z_0^z - z,\ z\varepsilon\ Z_1 \cup Z_2 \cup \ldots \cup Z_T\ .$$

(3) Liquiditätsrestriktionen

$$A \cdot X_z - KA_z + FA_z = EM,\ z\varepsilon Z_0,$$

$$A \cdot X_z - DS \cdot Y_z + (1+ZK) \cdot KS_{z^*} - KA_z + FA_z - (1+ZA) \cdot FA_{z^*} = 0,\ z\ \varepsilon\ Z_1 \cup \ldots \cup Z_{T-1}\ ,$$

$$- DS \cdot Y_z + (1+ZK) \cdot KA_{z^*} - (1+ZA) \cdot FA_{z^*} + V_z = 0,\ z\varepsilon Z_T.$$

(4) Nichtnegativitätsbedingungen

$X_z \geq 0,\ z \in Z_0 \cup Z_1 \cup \ldots \cup Z_{T-1}$,

$Y_z \geq 0,\ z \in Z_1 \cup \ldots \cup Z_T$,

$FA_z \geq 0,\ z \in Z_0 \cup \ldots \cup Z_{T-1}$,

$KA_z \geq 0,\ z \in Z_0 \cup \ldots \cup Z_{T-1}$.

(5) Ganzzahligkeit

X_z ganzzahlig!

Formal entsprechen die oben formulierten Nebenbedingungen denen des deterministischen Modells bis auf die Tatsache, daß Daten und Variable jetzt alternativen Umweltzuständen anstatt einzelnen Zeitpunkten zugeordnet sind. Weitere Unterschiede zwischen dem deterministischen Modell und dem Modell der flexiblen Planung ergeben sich bei der Formulierung der Zielfunktion, da am Planungshorizont entsprechend der Anzahl der im Zustandsbaum enthaltenen Kantenzüge jeweils alternative Werte für das Endvermögen anfallen. Da ein Endknoten $z \in Z_T$ nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit w_z^T erreicht wird, ist eine Ausprägung des Endvermögens als Zufallsvariable aufzufassen. Die Wahrscheinlichkeit w_z^T entspricht dem Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten, die den Kanten auf dem Weg zu einem Endknoten zugeordnet sind. Diese Einzelwahrscheinlichkeiten w_z geben jeweils die Wahrscheinlichkeit dafür an, von einem Zustand z* zum unmittelbar folgenden Zustand z zu gelangen. Die Wahrscheinlichkeit einen Endknoten zu erreichen, ergibt sich dann als[1]:

$$w_z^T = \prod_{z'} w_{z'},\ z' \in Z_0^z,\ z \in Z_T.$$

Für die Zielfunktion ergibt sich dann:

$$\sum_{z \in Z_T} w_z^T \cdot V_z \rightarrow \max!$$

D.h., zu maximieren ist der Erwartungswert des Endvermögens. Für das vorliegende Beispiel ist damit ein Modell der flexiblen Planung in Form eines gemischt-ganzzahligen linearen Programmierungsmodells vollständig formuliert. Eine Erweiterung dieses Modells durch Aufhebung einzelner Prämis-

---

1 Die Wahrscheinlichkeit w_o, den Ausgangsknoten zu erreichen, hat den Wert Eins, da der Ausgangszustand definitionsgemäß bekannt ist.

sen ist wie im deterministischen Fall ohne weiteres möglich[1], ändert jedoch die grundsätzliche Modellstruktur nicht.

Die Flexibilität dieses stochastischen Planungsansatzes besteht nun darin, daß für jeden Umweltzustand $z \varepsilon Z_0 \cup Z_1 \cup \ldots \cup Z_T$ aus den diesen Zuständen zugeordneten möglichen Entscheidungen eine optimale Entscheidung ermittelt wird[2]. Nach Durchführung der Rechnung ist für jeden Umweltzustand eine optimale Handlungsalternative bekannt. Ausgehend von der im Planungszeitpunkt durchzuführenden Anfangsentscheidung sind für alle möglichen Folgezustände die optimalen Entscheidungen ermittelt. Diese optimalen Folgeentscheidungen sind als bedingte Entscheidungen aufzufassen, d.h. ihre Durchführung wird davon abhängig gemacht, welcher der im Zustandsbaum erfaßten alternativ möglichen Umweltzustände tatsächlich eintritt[3]. Modelle der flexiblen Planung berücksichtigen damit eine im Zeitablauf eintretende Verbesserung des Informationsstandes, die darin besteht, daß "aufgrund des jeweils eingetroffenen Umweltzustandes nur noch ganz bestimmte Umweltzustände folgen können ..."[4], für die dann jeweils die optimalen Entscheidungen bekannt sind. Ein flexibles Planungsmodell ermittelt folglich ein System optimaler bedingter Teilpläne[5].

Die Berechnung einer optimalen Anfangsentscheidung sowie der optimalen Folgeentscheidungen kann mit dem oben formulierten gemischt-ganzzahligen linearen Programm erreicht werden; denkbar sind auch andere Rechenverfahren. Einmal könnte das Problem als dynamisches Programmierungsproblem formuliert werden[6], zum anderen könnte ein Entscheidungsbaum aufgestellt werden, mit dessen Hilfe im Wege einer roll-back-Analyse die optimalen Entscheidungen zu ermitteln wären[7]. Das Ergebnis wäre bei korrekter Formulie-

---

1 Vgl. hierzu z.B. Laux, H., a.a.O., S. 98 ff.; Lassak, H.P., a.a.O., S. 93 ff.; Jochum, H., Flexible Planung als Grundlage unternehmerischer Investitionsentscheidungen, Diss. Saarbrücken 1969, S. 92 ff.

2 Vgl. Hax, H. und Laux, H., a.a.O., S. 333.

3 Vgl. Laux, H., a.a.O., S. 14; Hax, H., Investitionstheorie, Würzburg und Wien 1970, S. 135.

4 Lassak, H.P., a.a.O., S. 87.

5 Vgl. Laux, H., a.a.O., S. 23.

6 Vgl. dazu Jochum, H., a.a.O., S. 98 ff.

7 Vgl. dazu Magee, J.F., How to Use Decision Trees in Capital Investment. In: HBR, Vol. 42 (1964), No. 5, S. 79 ff.

rung des Problems in jedem Fall das gleiche. Das Grundprinzip der flexiblen Planung, den im Planungszeitpunkt erkennbaren Handlungsspielraum zielgerecht auszunützen[1], wird bei allen Rechenverfahren berücksichtigt.

Die Vorgehensweise der flexiblen Planung wird in der Literatur der sogenannten starren Planung gegenübergestellt[2], die bei der Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie vorhandene Entscheidungsspielräume nicht berücksichtigt.

Bevor dieses Modell der flexiblen Planung auf seine Übereinstimmung mit den oben aufgestellten Anforderungen überprüft wird, soll nun zunächst die starre Planung mit der flexiblen Planung verglichen werden, da die unterschiedliche Vorgehensweise dieser Planungsverfahren auch bei den an späterer Stelle dargestellten Simulationsmodellen wesentlich ist.

1.2.2. Vergleich zwischen starrer und flexibler Planung

Die Unterschiede zwischen starrer und flexibler Planung können in einfacher Form an einem Entscheidungsbaum dargestellt werden. Gegeben ist eine Strategienmenge $X=\{X_1,X_2,X_3,X_4\}$, ein Zustandsbaum mit einer Menge von alternativen Umweltverläufen $U=\{U_1,U_2,U_3,U_4\}$ sowie die Menge der den Umweltverläufen zugeordneten Wahrscheinlichkeiten $W=\{W_1,W_2,W_3,W_4\}$. Die Zusammenfassung dieser Entscheidungssituation zeigt der in Abb. 16 dargestellte Entscheidungsbaum, dessen Endknoten bereits mit den Ausprägungen vz_{ij1} der Zielgröße L=1 bewertet sind. Als Entscheidungsregel wird Erwartungswertmaximierung unterstellt.

Zunächst wird die Vorgehensweise bei starrer Planung beschrieben. Bei starrer Planung wird eine Strategie X_i fest vorgegeben und für alle Umweltverläufe werden die entsprechenden Konsequenzen ohne Berücksichtigung des im Beispiel im Zeitpunkt t=1 vorhandenen Entscheidungsspielraums bestimmt. Die Ergebnisse am Planungshorizont sind als Realisationen einer Zufallsvariablen VZZ aufzufassen, deren Ausprägungen mit den ebenfalls an-

1 Das Grundprinzip der flexiblen Planung wurde von Hart aufgezeigt und theoretisch begründet. Vgl. Hart, A.G., Anticipations, Uncertainty and Dynamic Planning, Reprints of Economic Classics, New York 1965, S. 84.

2 Eine Diskussion der Vorteile der "flexiblen" gegenüber der "starren" Planung findet sich bei Lassak, H.P., a.a.O., S. 76 f.; Laux, H., a.a.O., S. 23 f.; Hax, H. und Laux, H., a.a.O., S. 319 ff.; Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 78 f.

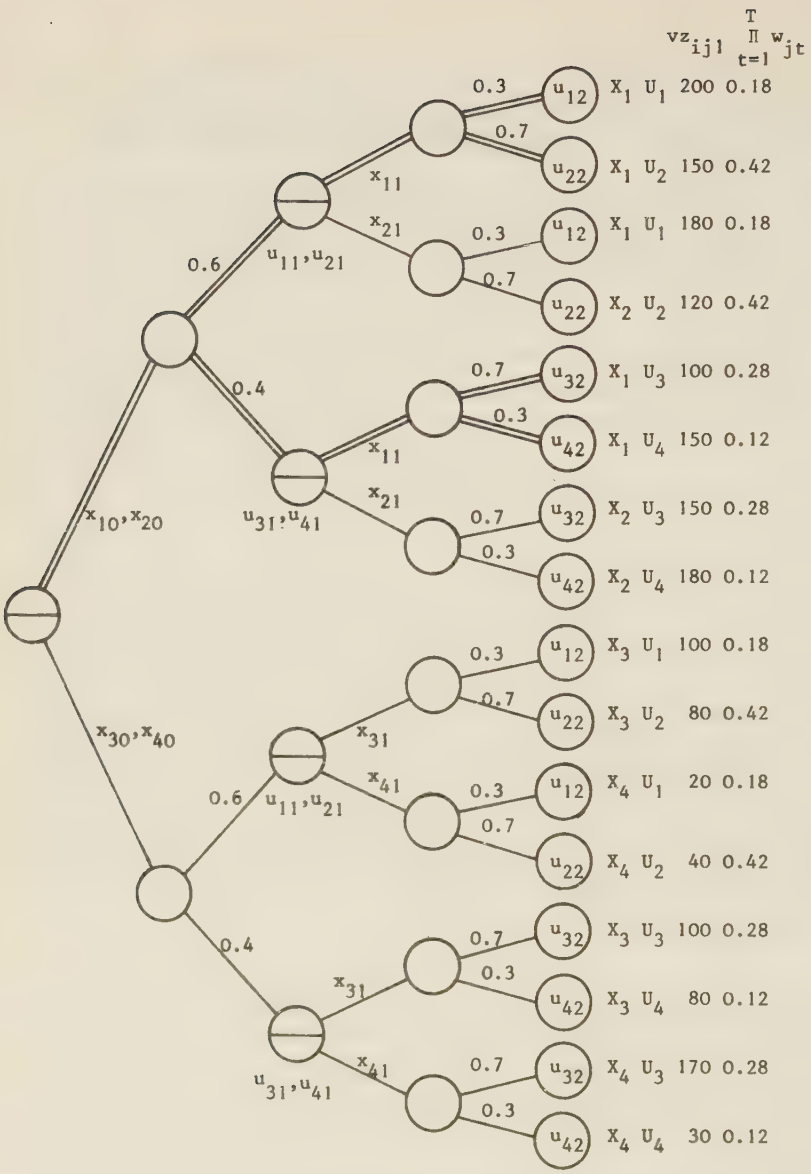


Abb. 16: Entscheidungsbaum für den Vergleich zwischen starrer und flexibler Planung

den Endknoten des Entscheidungsbaums aufgeführten Wahrscheinlichkeiten auftreten. Die Ausprägungen dieser Zufallsvariablen werden zu einer Wahrscheinlichkeitsverteilung zusammengefaßt, die dann der entsprechenden Strategie zuzuordnen ist[1]. Für die Bildung dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung gilt[2]:

$$p_i(VZZ=vz_{i.1}) = \sum_{j:vz_{ij1} = vz_{i.1}} \prod_{t=1}^{T} w_{jt},$$

$$i=1,\ldots,M.$$

Für Strategie X_1 ergibt sich demnach für das vorliegende Beispiel (Abb. 16) die folgende Wahrscheinlichkeitsverteilung:

$$p_1\ (VZZ = 100) = 0{,}28,$$
$$p_1\ (VZZ = 150) = 0{,}54,$$
$$p_1\ (VZZ = 200) = 0{,}18.$$

Gemäß der vorgegebenen Entscheidungsregel ist dann der Erwartungswert für diese Wahrscheinlichkeitsverteilung zu bestimmen und der Strategie X_1 zuzuordnen. Wendet man dieses Verfahren auf alle Strategien an, so ergeben sich die folgenden Erwartungswerte: $E_1(VZZ) = 145$, $E_2(VZZ) = 146.4$, $E_3(VZZ) = 89.2$ und $E_4(VZZ) = 71.6$. Bei starrer Planung ist folglich Strategie X_2 mit den Teilentscheidungen x_{20} und x_{21} zu wählen.

Bei flexibler Planung werden nun zunächst die im Zeitpunkt t=1 möglichen Teilentscheidungen x_{11}, x_{21}, x_{31} und x_{41} in Abhängigkeit von den Umweltsituationen $u_{11}=u_{21}$ bzw. $u_{31}=u_{41}$ getroffen, d.h. für die in t=1 möglichen Umweltzustände werden bedingte Entscheidungen festgelegt. Sind die bedingten Entscheidungen bekannt, so ist die Rechnung für die Anfangsentscheidungen unter Berücksichtigung der Zielwerte der nun bekannten optimalen Folgeentscheidungen durchzuführen (roll-back-Analyse).

Zunächst werden also die Teilentscheidungen $x_{11} \varepsilon X_1$ mit $x_{21} \varepsilon X_2$ und $x_{31} \varepsilon X_3$ mit $x_{41} \varepsilon X_4$ unter der Voraussetzung, daß $u_{11}=u_{12}$ oder $u_{31}=u_{41}$ bereits eingetreten ist, hinsichtlich der Erwartungswerte auf der Stufe t=1 verglichen. Zur Ermittlung der im Zeitpunkt t=1 optimalen bedingten Entscheidungen

---

1 Die Strategie X_1 zuzuordnenden Ergebnisse sind im Entscheidungsbaum durch den Doppelstrich gekennzeichnet.

2 Vgl. Kap. B 3.5.3.

sind nun beim angeführten Beispiel (Abb. 16) die folgenden Vergleiche durchzuführen:

$$E_1 = \max_{i=1,2} \{\sum_j vz_{ij1} \cdot w_{j2}\},\ j=1,2,$$

$$E_2 = \max_{i=1,2} \{\sum_j vz_{ij1} \cdot w_{j2}\},\ j=3,4,$$

$$E_3 = \max_{i=3,4} \{\sum_j vz_{ij1} \cdot w_{j2}\},\ j=1,2,$$

$$E_4 = \max_{i=3,4} \{\sum_j vz_{ij1} \cdot w_{j2}\},\ j=3,4.$$

Nach Durchführung der Rechnung ergeben sich auf der Stufe t=1 die folgenden optimalen Entscheidungen, mit denen die Erwartungswerte E_1 bis E_4 verbunden sind:

E_1=165, mit x_{11} bei Eintritt von u_{11}=u_{21} auf dem Weg x_{10}=x_{20},
E_2=159, mit x_{21} bei Eintritt von u_{31}=u_{41} auf dem Weg x_{10}=x_{20},
E_3= 86, mit x_{21} bei Eintritt von u_{11}=u_{21} auf dem Weg x_{30}=x_{40},
E_4=128, mit x_{41} bei Eintritt von u_{31}=u_{41} auf dem Weg x_{30}=x_{40}.

Sind auf diese Weise die Entscheidungen für den Zeitpunkt t=1 festgelegt, so ist nun für den Planungszeitpunkt t=0 die optimale Anfangsentscheidung zu ermitteln. Zu vergleichen ist folglich die Anfangsentscheidung x_{10}=x_{20} mit x_{30}=x_{40}. Wird x_{10}=x_{20} als Anfangsentscheidung gewählt, so ergibt sich für den Erwartungswert der Zielgröße E_5:

$$E_5 = E_1 \cdot w_{j1} + E_2 \cdot w_{j1},\ j=1,3 \text{ oder } 2,4$$
$$E_5 = 162,6.$$

Wird x_{30}=x_{40} als Anfangsentscheidung gewählt, so ergibt sich für den Entscheidungsträger der Zielgröße E_6:

$$E_6 = E_3 \cdot w_{j1} + E_4 \cdot w_{j2},\ j=1,3 \text{ oder } 2,4.$$
$$E_6 = 102,8.$$

Die roll-back-Analyse ergibt somit den folgenden optimalen flexiblen Plan: Als Anfangsentscheidung im Zeitpunkt t=0 ist x_{10}=x_{20} zu wählen. Tritt der Umweltzustand u_{11}=u_{21} ein, so ist die optimale Folgeentscheidung durch x_{11} gegeben, tritt u_{31}=u_{41} ein, so ist die optimale Folgeentscheidung durch x_{21} gegeben.

Gegen die starre Planung wird nun in der Literatur teilweise eingewendet, daß ein Planungsträger bereits im Planungszeitpunkt sämtliche im Planungszeitraum zu treffenden Entscheidungen definitiv festlegt, d.h. im vorliegenden Beispiel für t=0 die Entscheidung x_{20} und für t=1 die Entscheidung x_{21}.[1] Dieses Argument ist nun wenig überzeugend, denn auch bei starrer Planung wird ein Planungsträger im Planungszeitpunkt zunächst nur x_{20} durchführen und nach Ablauf einer Periode bei dann selbstverständlich neuem bzw. verbessertem Informationsstand erneut eine Entscheidung treffen (Prinzip der rollenden Planung).

Die Bedeutung eines Systems optimaler bedingter Folgeentscheidungen, die im Rahmen flexibler Planungsansätze bei der Ermittlung der Anfangsentscheidung zwangsläufig anfallen, ist bei Anwendung des Prinzips der rollenden Planung gering einzuschätzen. Denn nach Ablauf einer Periode sind auch bei flexibler Planung i.a. neue Alternativen erkennbar und ebenso dürfte die Umweltentwicklung i.a. anders beurteilt werden. Wesentlich für die hier vorliegende Entscheidungssituation ist folglich die Ermittlung einer zielgerechten Anfangsentscheidung bei Ausnutzung aller im Planungszeitpunkt verfügbaren Informationen, damit zukünftige Entscheidungsmöglichkeiten nicht schon dadurch eingeengt werden, daß erst die Folgen einer verfehlten Anfangsentscheidung zu beseitigen sind. Ausschlaggebend für die Wahl eines Planungsverfahrens ist deshalb die Ermittlung einer zielentsprechenden Anfangsentscheidung[2].

Vergleicht man beim Beispiel die Planungsergebnisse der starren und flexiblen Planung, so zeigt sich, daß beide Verfahren zur gleichen Anfangsentscheidung führen. Führten nun flexible und starre Planung generell zur gleichen Anfangsentscheidung, so wäre unter diesem Aspekt die Ablehnung der starren Planung sinnlos.

Mit Hilfe des vorliegenden Beispiels läßt sich jedoch zeigen, daß die Übereinstimmung der Planungsergebnisse hinsichtlich der Anfangsentscheidung nur zufällig zustandekommt. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der starren und flexiblen Planung zusammengestellt.

---

1 Vgl. z.B. Laux, H., a.a.O., S. 23 f.; Lassak, H.P., a.a.O., S. 86; Wild, J., Unternehmungsplanung, a.a.O., S. 79.

2 Vgl. Hax, H. und Laux, H., a.a.O., S. 321.

Starre Planung		Flexible Planung	
Strategie	Zielwert	Strategie	Zielwert
X_1	145	$x_{10} = x_{20}$	162,6*
X_2	146,2*		
X_3	89,2	$x_{30} = x_{40}$	102,8
X_4	71,6		

Tab. 5: Gegenüberstellung der Ergebnisse bei starrer und flexibler Planung

Durch Änderung der an den Endknoten (Abb. 16) aufgeführten Ausprägungen der Zielgröße vz_{ij1} kann gezeigt werden, daß starre und flexible Planung zu unterschiedlichen Anfangsentscheidungen bei jeweils gleichem Informationsstand führen können. Addiert man zu den bei Strategie $X_3=\{x_{30},x_{31}\}$ und $X_4=\{x_{40},x_{41}\}$ erreichbaren Ausprägungen der Zielgröße jeweils einen konstanten Betrag C, so werden sich bei starrer wie auch bei flexibler Planung die mit den Stategien verbundenen Erwartungswerte ebenfalls um diesen Betrag C erhöhen, da sich die Summe der Produktwahrscheinlichkeiten über alle Umweltverläufe zu Eins addiert.

Setzt man für C z.B. den Wert 59 ein, so ändern sich die Erwartungswerte von Tabelle 5 zu den in Tabelle 6 aufgeführten Werten.

Starre Planung		Flexible Planung	
Strategie	Zielwert	Strategie	Zielwert
X_1	145	$x_{10} = x_{20}$	162,6*
X_2	146,2		
X_3	148,20*	$x_{30} = x_{40}$	161,8
X_4	130,60		

Tab. 6: Ergebnisse bei starrer und flexibler Planung bei geänderten Zielwerten

Vergleicht man nun die Ergebnisse der flexiblen und starren Planung, so zeigt sich, daß bei flexibler Planung weiterhin die Anfangsentscheidung $x_{10}=x_{20}$ optimal ist, während bei starrer Planung die Strategie X_3 mit der Anfangsentscheidung $x_{30}=x_{40}$ zu wählen ist. Damit ist gezeigt, daß starre und flexible Planung zu unterschiedlichen Anfangsentscheidungen führen können.

Offensichtlich begeht man im letzten Fall bei starrer Planung einen Fehler, der darin besteht, den zukünftigen Handlungsspielraum nicht zielgerecht auszunutzen. Dies zeigt auch der Vergleich der Erwartungswerte, die bei beiden Planungsverfahren anfallen. Bei starrer Planung fallen in jedem Fall niedrigere Erwartungswerte an, da bei deren Berechnung auch die nicht optimalen Folgeentscheidungen berücksichtigt sind. Ein Planungsträger, der einen vorhandenen zukünftigen Handlungsspielraum bei der Ermittlung der Startentscheidung nicht zielgerecht ausnutzt, verstößt damit offensichtlich gegen seine selbstgewählte Zielsetzung[1].

Ob flexibel oder starr geplant werden soll ist deshalb keine Frage der einzusetzenden Planungstechnik, sondern ein Problem der zielgerechten Ausnutzung vorhandenen Handlungsspielraums bei der Ermittlung einer zielgerechten Anfangsentscheidung und damit eine "Frage der Formulierung alternativer Handlungsprogramme"[2].

Ist Handlungsspielraum vorhanden, so ist folglich flexibel zu planen, ist kein Handlungsspielraum vorhanden, so führen starre und flexible Planung zum gleichen Ergebnis.

1.2.3. *Die Eignung flexibler Planungsmodelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung*

Die Verfahren der flexiblen Planung sind nun auf ihre Übereinstimmung mit den in Teil B aufgestellten Anforderungen zu überprüfen.

Zunächst zeigte sich, daß die Erwartungsstruktur eines Planungsträgers nur in verdichteter Form durch die Modelle erfaßt werden kann. Zwar ist es

---

1 Ein solches Verhalten kann auch ohne Rückgriff auf Axiome als nichtrational bezeichnet werden.

2 Schneider, D., Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewißheit. In: ZfbF, 23. Jg. (1971), S. 846.

durchaus möglich, alternative Umweltverläufe zu berücksichtigen. Den alternativen Umweltzuständen müssen jedoch aus Gründen der Rechenbarkeit Punktschätzungen über die problemrelevanten Einflußgrößen zugeordnet werden. Die Verarbeitung von Intervallschätzungen ist nicht möglich, d.h. eine vollständige Verarbeitung der vorhandenen Informationen unterbleibt, wenn man davon ausgeht, daß die Angabe von Intervallschätzungen die problemadäquate Form der Erfassung der Unsicherheit über zukünftige Umweltzustände ist - und dies dürfte i.a. der Fall sein. Die ermittelte Lösung ist folglich nur optimal bezüglich der aus den Intervallen verwendeten Werte (z.B. Intervallmittelwerte), d.h. nur dann optimal, wenn die aus den Intervallen verwendeten Werte auch tatsächlich eintreffen.

Soll das Planungsproblem als lineares Programmierungsmodell formuliert werden, so sind u.U. wegen der dann notwendigen Linearisierung nicht-linearer Zusammenhänge Manipulationen an der Problemstruktur vorzunehmen (vgl. hierzu Kapitel C 1.1.). Dieser Einwand gilt nicht, wenn das Planungsproblem mit Hilfe der dynamischen Programmierung oder im Wege einer roll-back Analyse gelöst wird, da in diesem Fall keine Bedingungen hinsichtlich der Linearität von Gleichungen bzw. Ungleichungen zu stellen sind. Allerdings ergeben sich bereits bei dem hier angeführten einfachen Beispiel rechentechnische Probleme, wenn die dynamische Programmierung Verwendung finden soll, da zur Ermittlung des Endvermögens bereits mit mehreren Zustandsvariablen gerechnet werden muß. Zur Ermittlung der zielentsprechenden Anfangsentscheidung ist bei stochastischer dynamischer Programmierung rückwärtsschreitend zu rechnen, d.h. zunächst sind analog zur roll-back-Analyse, die sich auf das Prinzip der dynamischen Programmierung zurückführen läßt, die Entscheidungen für die Stufe T-1 zu fällen. Zur Ermittlung der zielentsprechenden Entscheidung müssen nun alternative Bestände an Maschinen, Krediten bzw. Finanzinvestitionen kombinatorisch vorgegeben werden, da die Entscheidungen der Vorstufen noch nicht bekannt sind. Der Zulässigkeitsbereich der möglichen Finanzinvestitionen z.B., die auf Grund von Entscheidungen der Vorstufe möglich sind, ist u.U. so groß, daß wegen des Rechenaufwandes eine Lösung mit Hilfe der dynamischen Programmierung bei mehreren Zustandsvariablen nur schwer möglich ist[1].

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der mit einer Strategie verbundenen Konsequenzen ist bei flexiblen Planungsmodellen nicht zu ermitteln, da

---

1 Vgl. z.B. Gessner, P. und Wacker, H., Dynamische Optimierung, München 1972, S. 75 f.

alle Ergebnisse zu einem Erwartungswert verdichtet werden. Die mit einer Strategie verbundenen Risiken und Chancen können daher auch nicht an der Verteilungsfunktion einer Zielgröße aufgezeigt werden.

Die Verdichtung aller Ergebnisse zu einem Erwartungswert erlaubt eine Berücksichtigung der Risikoneigung eines Planungsträgers nur mit Hilfe einer Risikonutzenfunktion[1]. Für das vorliegende Beispiel ergäbe sich dann die folgende Zielfunktion:

$$\sum_{z \in Z_T} NU(V_z) \cdot w_z^T \rightarrow \max!$$

D.h. zu maximieren wäre der Erwartungswert des Endvermögennutzens. Sämtliche am Planungshorizont zu erwartenden Werte des Endvermögens würden dann jedoch zu einem kaum interpretierbaren Erwartungsnutzen zusammengefaßt. Gegen diese Vorgehensweise sprechen auch die im Teil B dieser Arbeit aufgezeigten Einwände gegen die Risiko-Nutzen-Theorie.

Das Modell der flexiblen Planung kann folglich nur teilweise den sich aus der allgemeinen Problemstruktur ergebenden Anforderungen an Modelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung entsprechen. Zwar ermöglichen die Modelle der flexiblen Planung die Berücksichtigung der Unsicherheit über die Umweltentwicklung und erlauben eine zielgerechte Ausnutzung vorhandener Handlungsspielräume, jedoch ist die Optimalität der zu ermittelnden Lösungen zu relativieren, da sie auf einer unvollständigen Informationsauswertung beruht.

Im folgenden wird den Modellen der mathematischen Programmierung die Simulationsmethode gegenübergestellt. Mit Hilfe des für die Formulierung der mathematischen Programmierungsansätze verwendeten Beispiels wird dann gezeigt, daß Simulationsmodelle den aufgestellten Anforderungen gerecht werden können.

---

1 Diese Vorgehensweise wird von Laux und Lassak zur Erfassung der Risikoneigung vorgeschlagen. Vgl. Laux, H., a.a.O., S. 19 und Lassak, H.P., a.a.O., S. 131 ff.

2. *Methodische Grundlagen der Simulation*

2.1. Abgrenzung des Simulationsbegriffs

Zur Klärung des hier verwendeten Simulationsbegriffs ist es zweckmäßig, auf die Ausführungen zur Bildung formaler Modelle zurückzugreifen[1]. Ein Modell wurde als ein formales System definiert, das durch Formalisierung eines Realsystems gewonnen wird. Das zu formulierende Realsystem stellt dabei einen als System formulierten Ausschnitt der Wirklichkeit dar. Bei der Untersuchung eines spezifischen Systems ist eine Angabe darüber notwendig, welche Elemente mit welchen Eigenschaften in das Realsystem einbezogen werden sollen und welche Relationen zwischen diesen Elementen bestehen. Im Zusammenhang mit der Simulationsmethode ist nun eine Eigenschaft der betrachteten Elemente von besonderem Interesse: und zwar die, daß die betrachteten Elemente im Zeitablauf unterschiedliche Ausprägungen annehmen[2]. Gegenstand der Simulationsmethode sind damit zeitablaufbezogene Systeme. Bezeichnet man die Ausprägung eines Systemelementes in einem bestimmten Zeitpunkt als Zustand des Elements, so bildet eine zeitliche Folge von Zuständen eine Zustandsgeschichte[3] bzw. eine Zustandstrajektorie[4] des betrachteten Elements.

Die Erstellung von Zustandsgeschichten der betrachteten Systemelemente wird nun als Simulation bezeichnet[5], wobei zur Erstellung der Zustandsgeschichten ein formales Modell, im folgenden Simulationsmodell genannt, verwendet wird. Ziel der Simulationsmethode ist es also, mit Hilfe der durch ein Simulationsmodell erstellten Zustandsgeschichten Einblick in das Verhalten des Systems zu gewinnen, auf das sich die Planung bezieht.

Damit die Zustandsgeschichten der problemrelevanten Größen gebildet werden können, müssen die zu simulierenden dynamischen Systeme weiter die Eigenschaft haben, kausal bzw. nicht-antizipatorisch zu sein[6]. Kausale bzw.

---

1 Vgl. Kapitel B 3.5.1.

2 Vgl. hierzu Witte, T., a.a.O., S. 9.

3 Vgl. ebenda.

4 Vgl. Pichler, F., Mathematische Systemtheorie - Dynamische Konstruktionen, Berlin und New York 1975, S. 62.

5 Vgl. Witte. T., a.a.O., S. 18 sowie die dort angeführte Literatur.

6 Eine ausführliche Darstellung der Struktur kausaler bzw. nicht-antizipatorische Systeme findet sich bei Witte, T., a.a.O., S. 78 ff. sowie bei Pichler, F., a.a.O., S. 61 ff.

nicht-antizipatorische System haben die Eigenschaft, daß der Zustand eines Elements im Zeitpunkt t nur von den vorangegangenen Zuständen und den Werten der Einflußgrößen in t abhängig ist[1].

Das folgende Beispiel soll die oben beschriebene Methode der Simulation verdeutlichen: Betrachtet man den Zusammenhang zwischen der Bestandsgröße Forderungen FO, der erfolgswirtschaftlichen Stromgröße Umsatz UM und der finanzwirtschaftlichen Stromgröße Zahlungseingang ZE im Zeitablauf, so können diese Elemente und der zwischen ihnen bestehende Zusammenhang als System aufgefaßt werden.

Ein Simulationsmodell (formales System) dieses Systems erhält man nun, indem drei Mengen von endlichen Zahlenfolgen gebildet werden:

- eine Menge von Umsatzfolgen MUM,
- eine Menge von Forderungsfolgen MFO, und
- eine Menge von Folgen der Zahlungseingänge MZE.

Über diese Mengen ist eine Relation zu definieren, die angibt, welche Folgen miteinander verknüpft sind. Dieses formale System ist bei einem beliebigen Anfangsbestand der Forderungen FO_0 durch ({MFO, MUM, MZE}, R_{FO_0}) mit $R_{FO_0} \subset$ MFO x MUM x MZE definiert. Die Relation R_{FO_0} gibt bei Einbeziehung des Anfangsbestandes FO_0 den Zusammenhang zwischen den Folgen an und ist durch die folgende Beziehung gegeben:

$$FO_t = FO_{t-1} + UM_t - ZE_t.$$

Ist ein Anfangsbestand FO_0 bekannt, kann für beliebige Folgen von UM und ZE eine Zustandsgeschichte der Forderungen erstellt werden. Die Folgen UM und ZE kann man als erklärende Folgen, die Folge FO als zu erklärende Folge interpretieren[2], d.h. als die Folge, die die Zustandsgeschichte der Forderungen aufnehmen soll. Die Vorgehensweise der Simulationsmethode ist damit geklärt: durch ein Simulationsmodell werden mit Hilfe erklärender Eingabefolgen Zustandsgeschichten einer zu erklärenden Größe erstellt. Das oben formulierte System hat nun auch die Eigenschaft, kausal bzw. nicht-antizipatorisch zu sein, denn die Forderungen im Zeitpunkt t sind nur abhängig von den Forderungen zu den Zeitpunkten $t' < t$ und den dem Zeitpunkt t zugeordneten Werten der Eingabefolgen ZE und UM.

1 Vgl. Pichler, F., a.a.O., S. 64 f. sowie Witte, T., a.a.O., S. 77.

2 Vgl. Witte, T., a.a.O., S. 29 f.

Nachdem der Begriff der Simulation geklärt ist, sind einige Verfahren, die häufig im Zusammenhang mit der Simulationsmethode genannt werden, abzugrenzen. Dies sind einmal die Monte-Carlo-Methoden. Hierunter sind Verfahren zu verstehen, die es erlauben, mit Hilfe von Zufallsexperimenten nicht-stochastische Probleme zu lösen, wie z.B. die Lösung von Integralgleichungen sowie Verfahren zur Erzeugung von Zufallszahlen bei der Nachbildung stochastischer Prozesse[1]. Im Zusammenhang mit der Simulationsmethode wird lediglich das letztere Verfahren verwendet. Die Erzeugung von Zufallszahlen in einem Simulationsmodell erfolgt dann, wenn bestimmte Eingabefolgen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung gehorchen, d.h. die Werte der Eingabefolgen als Zufallsvariable aufzufassen sind. Zur Erzeugung von Realisationen dieser Zufallsvariablen finden dann Zufallszahlen Verwendung. Die teilweise Verwendung des Begriffs Monte-Carlo-Simulation[2] weist auf diesen Zusammenhang hin, ist jedoch mißverständlich, da die Erzeugung von Zufallszahlen keineswegs mit Simulation gleichzusetzen ist.

Abzugrenzen von der Simulation sind ebenfalls heuristische Verfahren. Hierunter sind Methoden zu verstehen, die die Suche nach Lösungen bei einer bestimmten Problemklasse im Durchschnitt verkürzen[3], ohne das Erreichen einer befriedigenden Lösung zu garantieren[4], sondern lediglich einen genügend hohen Prozentsatz an Lösungen ermitteln[5].

2.2. *Klassifikation von Simulationsmodellen*

Die Unterscheidung alternativer Typen von Simulationsmodellen kann einmal nach der Vorgehensweise bei der Erstellung einer Zustandsgeschichte, zum anderen nach dem Charakter der erklärenden Eingabefolgen vorgenommen werden. Nach der Vorgehensweise bei der Erstellung einer Zustandsgeschichte

1 Vgl. z.B. Koxholt, R., Simulation - ein Hilfsmittel der Unternehmungsforschung, München und Wien 1967, S. 34.

2 Vgl. z.B. Jones, G.T., Simulation and Business Decisions, Harmondsworth, Middlesex, 1972, S. 44.

3 Vgl. Newell, A., Shaw, J.C. und Simon, H.A., The Process of Creative Thinking. In: Contemporary Approaches to Creative Thinking, Hrsg. Gruber, H.E., Terrel, G. und Wertheimer, M., 4. Aufl., New York 1967, S. 78.

4 Vgl. Klein, H., Heuristische Entscheidungsmodelle, Wiesbaden 1971, S. 36.

5 Vgl. Harbordt, S., a.a.O., S. 19.

können zeit- und ereignisorientierte Modelle unterschieden werden[1] - nach dem Charakter der Eingabefolgen deterministische und stochastische Modelle[2].

Der Unterschied zwischen ereignisorientierten und zeitorientierten Modellen beruht auf einer unterschiedlichen Zeitführung im Simulationsmodell[3]. Bei zeitorientierten Modellen werden Zustandsänderungen im System nur zu äquidistanten Zeitpunkten festgestellt[4], d.h. nach einem Durchlauf durch das gesamte Modell wird die "Simulationsuhr" um eine Zeiteinheit weitergestellt und das Modell erneut durchlaufen, bis die "Simulationsuhr" abgelaufen ist.

Die Erstellung von Zustandsgeschichten mit einem zeitorientierten Simulationsmodell kann durch das folgende Beispiel demonstriert werden: Für eine Unternehmung mit auftragsorientierter Fertigung wird der Zusammenhang zwischen den Güter-, Erfolgs- und Zahlungsströmen betrachtet. In vereinfachter Form kann die folgende Kausalkette gebildet werden:

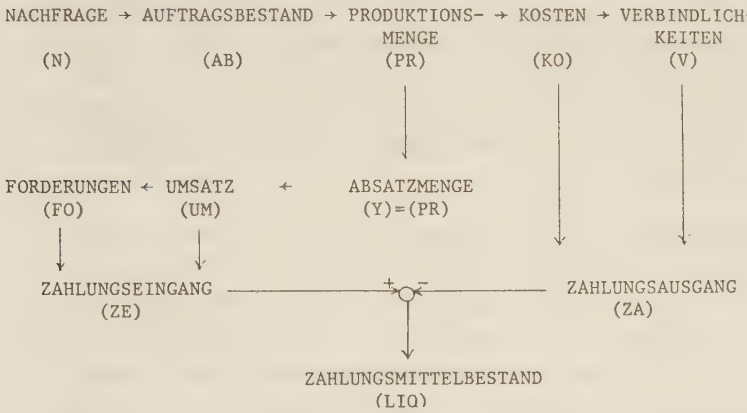


Abb. 17: Vereinfachte Darstellung von Erfolgs-, Finanz- und Güterströmen in einer Unternehmung

Ein möglicher Zusammenhang zwischen den Erfolgs-, Finanz- und Güterströmen sowie den zwischengeschalteten Bestandsgrößen kann z.B. durch das System der Gleichung (1) - (10) gebildet werden, wobei P den Absatzpreis je ME, PK die Produktionskosten je ME und KG die maximale Produktionskapazität angibt.

1 Vgl. Witte, T., a.a.O., S. 45 ff.

2 Vgl. z.B. Harbordt, S., a.a.O., S. 21.

3 Vgl. Mertens, P., Simulation, Stuttgart 1969, S. 19 ff.

4 Vgl. Witte, T., a.a.O., S. 45 ff.

$$(1) \quad AB(t) = AB(t-1) + N(t) - PR(t)$$

$$(2) \quad PR(t) = MIN\ \{KG,\ AB(t)\}$$

$$(3) \quad Y(t) = PR(t-2)^{1}$$

$$(4) \quad UM(t) = P \cdot Y(t)$$

$$(5) \quad KO(t) = PK \cdot PR(t)$$

$$(6) \quad FO(t) = FO(t-1) + UM(t) - ZE(t)$$

$$(7) \quad V(t) = V(t-1) + KO(t) - ZA(t)$$

$$(8) \quad ZE(t) = \sum_{I=0}^{M} \alpha_I \cdot UM(t-I)^{2}$$

$$(9) \quad ZA(t) = \sum_{J=0}^{N} \beta_J \cdot KO(t-J)$$

$$(10) \quad LIQ(t) = LIQ(t-1) + ZE(t) - ZA(t).$$

Sind die Anfangsbestände AB(0), FO(0), V(0), LIQ(0), die Werte für UM(t-1),...,UM(t-M), KO(t-1),...,KO(t-N), PR(t-1), PR(t-2), sowie die Eingabefolge der Werte N(t) bekannt, so bildet dieses Gleichungssystem ein zeitorientiertes Simulationsmodell, mit dessen Hilfe für die Perioden t=1,...,T die Zustandsgeschichten der einzelnen Elemente bestimmt werden können. Den groben Ablauf des Modells zeigt das in Abbildung 18 dargestellte Flußdiagramm.

Bei ereignisorientierten Simulationsmodellen erfolgt die Berechnung des Systemzustandes im Gegensatz zu zeitorientierten Modellen nicht zu äquidistanten Zeitpunkten, sondern sprunghaft in Abhängigkeit von den eingetretenen Ereignissen[3]. Die Vorgehensweise bei ereignisorientierten Simulationsmodellen könnte ebenfalls am oben dargestellten Beispiel demonstriert werden. Betrachtet wird nun nicht die aggregierte Größe Auftrangseingang, sondern ein einzelner Auftrag, der zu einem Auftragseingang führt, das System durchläuft, Zahlungs- und Erfolgsströme auslöst und schließlich das System verläßt. Dargestellt wird zur Vereinfachung nur der Produktionsbereich. Eine Maschine im Produktionsbereich kann als ein einkanaliges Bedienungssystem aufgefaßt werden, vor dem sich eine Warteschlange von zu bearbeitenden Aufträgen befindet (vgl. Abb. 19).

---

1 Es wird unterstellt, daß die Produktion zwei Perioden in Anspruch nimmt.

2 Zahlungseingänge (8) und Zahlungsausgänge (9) treten zeitlich verzögert auf. Vgl. hierzu S. 54 dieser Arbeit.

3 Witte, T., a.a.O., S. 45.

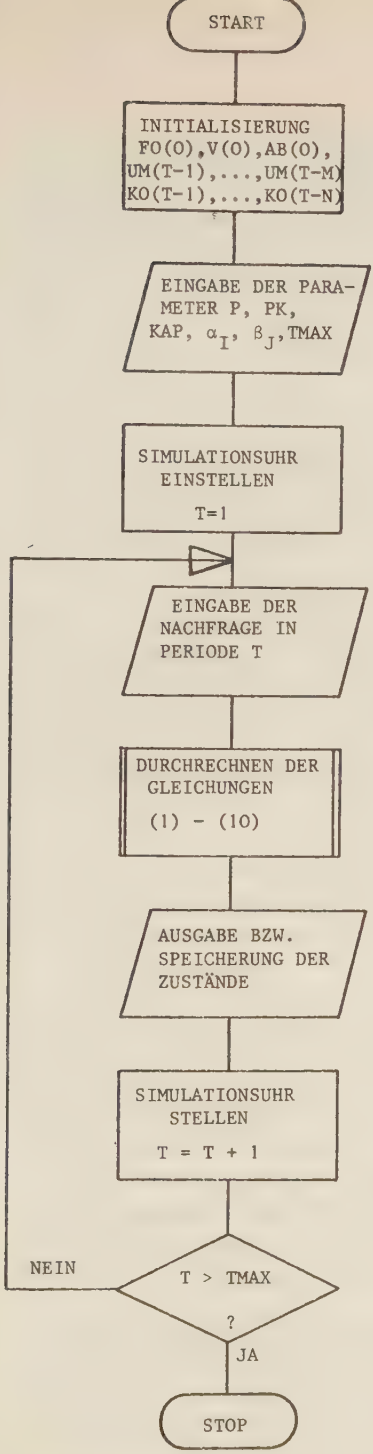


Abb. 18: Flußdiagramm für ein zeitorientiertes Simulationsmodell

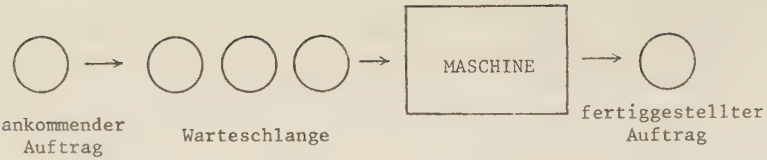


Abb. 19: Einkanaliges Bedienungssystem[1]

Ereignisse im dargestellten Bedienungssystem sind die Ankunft- und Fertigstellung eines Auftrages. Der Systemzustand kann z.B. an der Länge der Warteschlange, der Wartezeit eines Auftrags sowie der Stillstandszeit der Maschine gemessen werden.

Zu Beginn einer zu simulierenden Planungsperiode sei das System leer, d.h. kein Auftrag vorhanden. Als erstes Ereignis kann nun die Ankunft eines Auftrages erzeugt werden. Die Ankunftszeit des Auftrages AZ_1 wird in einem Ereigniskalender vermerkt. Gleichzeitig wird mit Hilfe der Bearbeitungszeit des Auftrags der Fertigstellungszeitpunkt FZ_1 errechnet (= Ankunftszeit + Bearbeitungszeit) und ebenfalls im Ereigniskalender festgehalten; damit ist der Zeitpunkt eines möglichen Folgeereignisses FEZ_1 (Fertigstellung des Auftrags bestimmt). Erzeugt man die Ankunft eines weiteren Auftrags, so wird seine Ankunftszeit AZ_2 ebenfalls im Ereigniskalender eingetragen. Durch Vergleich der eingetragenen Zeiten können nun die nächsten möglichen Ereignisse festgestellt werden. Ist $FEZ_1 > AZ_2$, so wird der Auftrag in die Warteschlange eingereiht, die Länge der Warteschlange und die Dauer der Wartezeit des Auftrags (FEZ_1-AZ_2) im Ereigniskalender festgehalten. Ist $FEZ_1 < AZ_2$, so wird der Fertigstellungszeitpunkt FEZ_2 im Ereigniskalender vermerkt und die Maschine mit dem Auftrag belegt, sowie die Stillstandszeit der Maschine (AZ_2-FEZ_1) im Ereigniskalender festgehalten. Gleichzeitig wird der Ereigniszeitpunkt FEZ_1 im Kalender gestrichen, da der Auftrag fertiggestellt ist und das Bedienungssystem verlassen hat. Diese Vorgehensweise wird für eine bestimmte Simulationszeit wiederholt und auf diese Weise gleichzeitig die Zustandsgeschichte des Systems erstellt.

Die Unterscheidung zwischen deterministischen und stochastischen Modellen erfolgt nach dem Charakter der verwendeten Eingabefolge bei der Erstellung

1 Vgl. hierzu auch Witte, T., a.a.O., S. 60 ff.

von Zustandsgeschichten. Sind die Eingabefolgen für den Planungszeitraum bekannt, so handelt es sich um deterministische Simulation. Deterministische Simulation setzt also vollkommene Information voraus. Bei zufallsabhängigen Eingabefolgen handelt es sich um stochastische Simulation. In diesem Fall wird das Simulationsexperiment für einen vorgegebenen Stichprobenumfang wiederholt, wobei in jedem Lauf für bestimmte Realisationen der unsicheren Eingabefolgen eine Zustandsgeschichte erzeugt wird.

Die Unterscheidung zwischen stochastischen und deterministischen Simulationsmodellen richtet sich folglich ausschließlich nach dem Charakter der Eingabefolgen. Die Struktur eines Simulationsmodells dagegen ist weitestgehend unabhängig vom Charakter einer Eingabefolge. Ob mit einem fest vorgegebenen Wert einer Eingabefolge oder der Realisation einer Zufallsvariablen gerechnet wird, hat keinen maßgeblichen Einfluß auf die Grundstruktur eines formalen Modells zur Erstellung von Zustandsgeschichten. Unterschiede zwischen deterministischen und stochastischen Modellen bestehen lediglich in der Steuerung der Eingabefolgen, der Ablauflogik sowie in der Auswertung der Simulationsläufe, die bei stochastischer Simulation aufwendiger wird.

Im folgenden Kapitel ist nun zu untersuchen, welche Modellstruktur zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung geeignet ist.

2.3. *Überlegungen zur Auswahl einer geeigneten Modellstruktur für ein Simulationsmodell zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung*

Die für ein Simulationsmodell zu wählende Struktur wird maßgeblich vom Problem bestimmt. Für den hier vorliegenden Problembereich der langfristigen Unternehmungsplanung ist wegen der Unsicherheit über die Datenentwicklung nur ein Modell mit stochastischen Eingabefolgen geeignet.

Bei der Entwicklung eines Simulationsmodells kann trotzdem zunächst ein deterministisches Modell entworfen werden, das den Kern eines umfangreicheren Modells bei stochastischer Simulation bildet. Für die Entwicklung eines deterministischen Modells als Ausgangsbasis vor Durchführung stochastischer Simulationsexperimente spricht weiter die einfachere Möglichkeit der Überprüfung deterministischer Modelle. Für bekannte Eingabefolgen aus der Vergangenheit kann z.B. im Wege einer ex-post-Projektion ein Test auf Verhaltensgleichheit durchgeführt werden. Gerade für Modelle zur

Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung ist diese Vorgehensweise bei der Bildung eines Simulationsmodells sinnvoll, da das Hauptproblem nicht in der Nachbildung eines stochastischen Prozesses liegt, sondern darin, für alternativ mögliche Datensituationen die Konsequenzen geplanter Strategien zu ermitteln.

Eine Entscheidung zwischen ereignis- und zeitorientierten Modellen kann nicht allgemeingültig getroffen werden. Prinzipiell kann das gleiche Problem sowohl ereignis- als auch zeitorientiert simuliert werden[1]. Wie die Beispiele zur ereignis- und zeitorientierten Simulation gezeigt haben, werden die Systemelemente dabei auf einer unterschiedlichen Ebene betrachtet. Bei der zeitorientierten Simulation wurden aggregierte Größen verwendet, wie z.B. Auftragsbestand, Auftragseingang (Nachfrage) usw., und mit Hilfe dieser aggregierten Größen eine Zustandsgeschichte des Systems erzeugt, z.B. die Ausgabefolgen Zahlungseingang, Zahlungsausgang und Zahlungsmittelbestand. Die Erstellung dieser Zustandsgeschichte könnte prinzipiell auch mit einem ereignisorientierten Simulationsmodell erfolgen, jedoch verlangte dies eine andere Betrachtungsweise. Elemente des Systems wären dann die einzelnen Aufträge, die das System vom Auftragseingang bis zur Auslieferung durchliefen und Folgeereignisse wie Zahlungsein- und Zahlungsausgänge auslösten. Die ereignisorientierte Simulation erfordert damit im allgemeinen eine detailliertere Betrachtungsweise[2]. Harbordt[3] unterscheidet deswegen auch mikroanalytische Modelle, die in etwa den ereignisorientierten Simulationsmodellen entsprechen, sowie makroanalytische Modelle, die in etwa den zeitorientierten Modellen entsprechen[4].

---

1 Vgl. hierzu Witte, T., a.a.O., S. 22 und 48.

2 Der Auftragseingang einer Periode könnte natürlich auch als Ereignis betrachtet werden, d.h. auch aggregierte Größen können als Ereignis aufgefaßt werden. Wegen der einfacheren Modellstruktur ist dann jedoch die zeitorientierte Simulation vorzuziehen.

3 Vgl. Harbordt, S., a.a.O., S. 30 ff. Die Unterscheidung zwischen mikro- und makroanalytischen Modellen führt Harbordt auf Abelson und Orcutt zurück. Vgl. Abelson, R.P., Simulation of Social Behavior. In: The Handbook of Social Psychology, Hrsg. G. Lindzey und E. Aronson, Reading, Mass. 1968, S. 274 ff.; Orcutt, G.H., Microanalytic Models for Regional Analysis. In: Design of Regional Accounts, Hrsg. W. Hochwald, Homewood 1968, Kap. 8.

4 Die Zuordnung zeitorientiert und makroanalytisch sowie ereignisorientiert und mikroanalytisch kann aufgrund der angeführten Beispiele vorgenommen werden. Vgl. Harbordt, S., a.a.O., S. 30 ff.

Für langfristige Unternehmungsplanung erscheint eine zeitorientierte Simulation geeigneter zu sein, da bei langfristiger Betrachtung eines Systems aus Gründen der Datenbeschaffungsprobleme im allgemeinen nur aggregierte Größen verwendet werden können. Für zeitorientierte Simulationsmodelle spricht weiter die formale Struktur der verwendeten Gleichungen. Bei zeitorientierten Modellen werden i.a. Differenzengleichungen bzw. Systeme von Differenzengleichungen verwendet, die zeitpunktbezogene Bestandsgrößen und zeitraumbezogene Stromgrößen verbinden[1]. Derartige Differenzengleichungen sind gut geeignet, die Zusammenhänge zwischen den Variablen eines bestimmten Planungsbereichs darzustellen. Aus den angeführten Gründen wird für das zu entwickelnde Simulationsmodell eine zeitorientierte Vorgehensweise gewählt.

3. *Simulationsmodelle zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung*

Der Einsatz der Simulation zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung wird seit geraumer Zeit in der Literatur vorgeschlagen[2] und nach einer Untersuchung von Gershewski in einer Reihe von Unternehmungen bereits praktiziert[3]. Eine Analyse und Klassifikation von in der Praxis bereits eingesetzten Simulationsmodellen wird deswegen erschwert, weil die für praktische Planungsprobleme entwickelten Modelle in der Literatur nur in

---

1 Eine ähnliche Formalstruktur weisen auch die von Forrester konzipierten, zeitorientierten "industrial dynamics" Modelle auf. Vgl. Forrester, J.W., Grundzüge einer Systemtheorie, Wiesbaden 1972.

2 Vgl. z.B. Mao, J.C.T., Essentials of Computer Simulation. In: Financial Executive (1967), S. 55 ff.; Robichek, A.A., The Use of Computer Simulation in Financial Planning. In: Financial Research and Management Decisions, Hrsg. A.A. Robichek, New York, London und Sydney 1967, S. 215; Ehrensperger, P., Das finanzielle Unternehmungsmodell: Zentrales Element eines MIS. In: IO, 39. Jg. (1970), S. 366 ff.; Benson, A.L., Simulating a Company's Finances and Capital Needs. In: Computer Decisions (1971), H. 7, S. 8 ff. und H. 9, S. 20 ff.; Broermann, B., Computer Simulation in Place of Analytical Models For Strategic Planning. In: Proceedings of the Symposium on Computer Simulation Versus Analytical Solutions for Business and Economic Models, Gothenburg 1972, Vol. II, Hrsg. W. Goldberg, Göteborg 1973, S. 129 ff.; Naylor, T.H., Towards a Theory of Corporate Simulation Models. In: Proceedings of the Symposium on Computer Simulation Versus Analytical Solutions For Business and Economic Models, Gothenburg 1972, Vol. II, Hrsg. W. Goldberg, Göteborg 1973, S. 149 ff.

3 Vgl. Gershewski, G.W., Corporate Models - The State of the Art. In: Corporate Simulation Models, Hrsg. A.N. Schrieber, University of Washington, Seattle 1970, S. 26 ff.

ihrem groben Aufbau beschrieben werden[1]. Ebenso werden Informationen über erfolgreiche bzw. nicht erfolgreiche Anwendungen von Simulationsmodellen sowie über die Ursachen, die zum Erfolg bzw. Mißerfolg führten, kaum offengelegt[2].

Nahezu vollständig dokumentierte Modelle können in einer groben Klassifikation nach dem Charakter der verwendeten Eingabefolgen in deterministische Budget-Simulationsmodelle und in stochastische Modelle zur Risikoanalyse untergliedert werden.

3.1. Überblick über vorhandene Simulationsmodelle

3.1.1. Budget-Simulations-Modelle

Die Grundlagen der Budget-Simulation gehen auf Mattessich zurück, der 1964 ein Simulationsmodell entwickelte, das die Aktivitäten einer Unternehmung im Rahmen eines Buchhaltungsmodells abbildete[3]. Seitdem wurden eine Reihe weiterer Budget-Simulationsmodelle entwickelt, die sich teilweise auf Modellunternehmungen[4], teilweise auf reale Unternehmungen beziehen[5].

---

1 Eine globale Beschreibung von einer Reihe von Simulationsmodellen findet sich z.B. bei Schrieber, A.N. (Hrsg.), Corporate Simulation Models, University of Washington, Seattle 1970; Naylor, T.H., Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems, New York 1971, S. 59 ff.; Goldberg, W. (Hrsg.), Computer Simulation Versus Analytical Solutions. Proceedings of the Symposium on Computer Simulation Versus Analytical Solutions For Business and Economic Models, Gothenburg 1972, Vol. I und Vol. II, Göteborg 1973.

2 Erfolgreiche Anwendungen von Simulationsmodellen sollen bei folgenden Unternehmungen erreicht worden sein: General Electric, Exxon, Xerox, Anheuser Busch, Pillsbury, Dow Chemical, AT&T. Das in der Literatur vielfach angeführte SUN-OIL-Modell, das von Gershwski entwickelt wurde, ist inzwischen erfolglos abgebrochen worden, ebenso die Modelle bei Boeing, Corning Glass und Wells Fargo Bank. Vgl. T.H. Naylor. In: Proceedings zum Social System Seminar Corporate Simulations Models, Paris 4.-5. Oktober 1971. Zitiert nach Sikora, K. und Mans, G., Elemente von Unternehmungsmodellen bei der Langfristplanung. In: AI, 16. Jg. (1974), S. 194, Ursachen für den Erfolg bzw. Mißerfolg sind nicht in Erfahrung zu bringen.

3 Vgl. Mattessich, R., Simulation of the Firm Through a Budget Computer Programm, Homewood, Ill., 1964.

4 Vgl. z.B. Barth, E., Der Entwurf eines Budgetsimulationsmodells unter Berücksichtigung von Zielniveau- und Zielprioritätsänderungen, Diss. München 1971; Ludewig, J., a.a.O., S. 72 ff.

5 Vgl. z.B. Bucher, H.J., Integrierte Langfristplanung eines Industriebetriebes mittels Simulation (Eine Fallstudie), Diss. München 1972; Caroni, L., Budgetsimulation, Bern und Stuttgart 1973; Leist, G. und Tröscher, H., Arbeitsunterlagen zum Seminar "Erfahrungen bei der Anwendung eines Finanzplanungsmodells vom Simulationstyp in der Praxis",

In ihrem Grundaufbau sind Budget-Simulationsmodelle rechnungswesenorientiert und stellen i.a. zukunftsorientierte Buchhaltungsmodelle dar. Ziel dieser Budget-Simulationsmodelle ist die Berechnung der Konsequenzen bestimmter Strategien bei alternativen Umweltverläufen, wobei die Konsequenzen einer geplanten Strategie durch einen Modellkontenplan erfaßt werden, mit dessen Hilfe dann eine Plan-Bilanz und Plan-Gewinn- und Verlustrechnung ermittelt wird. Da Budgetmodelle alle Unternehmungsbereiche auf einer detaillierten Betrachtungsebene erfassen, können bei Verabschiedung einer Strategie die durch das Modell ermittelten Budgets als Soll-Werte einzelnen Abteilungen vorgegeben werden. Ebenso ist bei unerwarteten Datenänderungen eine schnelle Korrektur der Budgetansätze möglich.

Fraglich ist, ob Budget-Simulationsmodelle eine geeignete Grundlage zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung sein können. Gegen ihre Verwendung können die folgenden Gründe angeführt werden:

1. Wegen der detaillierten kontenmäßigen Erfassung des Unternehmungsgeschehens verlangen Budget-Simulationsmodelle eine Vielzahl von Eingabeinformationen, deren Beschaffung bei langfristiger Planung nicht möglich sein dürfte[1]. Eine Ursache hierfür ist in der Bottom-Up-Konstruktion dieser Modelle zu sehen; d.h. ausgehend von den für operative Planungszwecke vorhandenen Dateien und Programmen (wie z.B. Stücklistenprozessoren, Bestellrechnung, Auftragsverwaltung, usw.) wird versucht, durch Fristverlängerung ein strategisches Planungsmodell zu konzipieren, wobei der Computer als elektronischer Buchhalter eingesetzt wird. Modelle dieses Typs werden daher von Carleton et al. treffend als "budget-compilers" bezeichnet[2].

Frankfurt 1974. Die bei Schrieber und Naylor angeführten Modelle von Dow Chemical usw. dürften nach der vorliegenden groben Beschreibung ebenfalls zu deterministischen Budget-Simulationsmodellen zu zählen sein.

1 So entwickelt Ludewig z.B. ein Simulationsmodell, das für einen Planungszeitraum von 10 Jahren, aufgeteilt in 3600 Planperioden zu je einem Tag, das Unternehmungsgeschehen auf der Basis einzelner Aufträge erfaßt, die die Unternehmung durchlaufen. Unter anderem testet Ludewig mit diesem Modell die Auswirkungen der Veränderung von Prioritätsregeln zur Fertigungssteuerung! Der Sinn derartiger Experimente bleibt unklar, ebenso wie die Lösung der Probleme der Datenbeschaffung. Vgl. Ludewig, J., a.a.O., S. 72 ff., insbesondere S. 111.

2 Vgl. Carleton, W.T., Dick, C.L. und Downes, D.H., Financial Policy Models: Theory and Practice. In: JFQA, Vol. 8 (1973) S. 691 ff. sowie Grinyer, P.H. und Batt, C.D., Some Tentative Findings on Corporate Financial Simulation Models. In: ORQ, Vol. 25 (1974), S. 164 f. Grinyer und Batt kritisieren in erster Linie den Bottom-Up-Ansatz der bekanntgewordenen Budget-Simulationsmodelle.

2. Da deterministische Budget-Simulationsmodelle ex definitione keine Berücksichtigung der Unsicherheit ermöglichen, können sie die zur Beurteilung alternativer Strategien wesentlichen Ergebnisverteilungen nicht liefern. Wegen des Bottom-Up-Ansatzes können sie weiter auch keine geeignete Grundlage für ein weitergehendes stochastisches Simulationsmodell sein, da auf Grund der detaillierten Betrachtungsweise beim Bottom-Up-Ansatz die Ermittlung der notwendigen Daten und Glaubwürdigkeitsverteilungen im Zusammenhang mit einer langfristigen Planung nicht möglich sein dürfte.

3. Der Ausbau von deterministischen Budgetsimulationsmodellen zu stochastischen Simulationsmodellen durch Einbeziehung stochastischer Eingabefolgen scheitert jedoch nicht nur an den Problemen der Datenbeschaffung, sondern ebenfalls am Problem der Auswertung der sich dann ergebenden stochastischen Ausgabefolgen. Da zur Bestimmung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Beurteilung alternativer Strategien ein genügend großer Stichprobenumfang S erforderlich ist, erhält man nach Beendigung des Simulationslaufs bei einem Budget-Modell S Folgen von Planbilanzen und Plan-Gewinn- und Verlustrechnungen, deren einzelne Elemente als Realisationen einer mehrdimensionalen Zufallsvariablen aufzufassen sind. Damit entsteht das Problem, über eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Dimension $T \cdot (L+K)$ entscheiden zu müssen[1], das bei Beschränkung der Betrachtung auf eine oder mehrere Zielgrößen durch Umstrukturierung der Ergebnismenge lösbar ist. Die Anwendung der in diesem Zusammenhang in Kapitel B 3.5.3 beschriebenen Verfahren auf alle Positionen einer Bilanz bzw. Gewinn- und Verlustrechnung erscheint nun wenig sinnvoll, da die so gewonnenen Werte kaum Aussagekraft besitzen. Ebensowenig sinnvoll ist es, für alle Positionen der Bilanz bzw. Gewinn- und Verlustrechnung periodenbezogene Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu bilden und diese zu Erwartungswerten zu verdichten, da hierbei der stochastische Zusammenhang zwischen den Zustandsgeschichten der im Modell erfaßten Variablen verloren geht[2] und einer so erstellten Folge von Planbilanzen bzw. Gewinn- und Verlustrechnungen auf der Basis von Erwartungswerten kaum Aussagekraft zugemessen werden kann.

---

1 Vgl. Kapitel B 3.5.2.

2 Eine modifizierte Vorgehensweise wird in einem von Schmidthals und Daudt entwickelten stochastischen Budget-Simulationsmodell verwendet. Vgl. Schmidthals, J. und Daudt, W., Investitionsrechnung bei unsicheren Erwartungen - Ein Simulationsmodell zur Ermittlung des wahrscheinlichsten Erfolgs geplanter Investitionen. In: IBM-Nachrichten, 21. Jg. (1970), S. 501 ff. Eine Auseinandersetzung mit Teilaspekten dieses Modells erfolgt in Kap. C 3.2.2.

Die angeführten Gründe verdeutlichen, daß Budget-Simulationsmodelle im Rahmen langfristiger Unternehmungsplanung kaum eine geeignete Grundlage zur Unterstützung des Planungsprozesses sein dürften. Ihre Anwendung sollte daher auf Planungsprobleme beschränkt bleiben, bei denen die Probleme der Datenbeschaffung zu lösen sind und die Anwendung deterministischer Eingabefolgen geringen Bedenken ausgesetzt ist.

3.1.2. Modelle zur Risikoanalyse

Die Verwendung von Monte Carlo-Methoden zur Erzeugung von Zufallszahlen im Zusammenhang mit Problemen der langfristigen Unternehmungsplanung bzw. Investitionsplanung geht auf Hertz zurück[1]. Dieses als Risikoanalyse bezeichnete Verfahren wurde von Heider[2] auf ein umfassendes Modell übertragen und wird teilweise auch in stochastischen Budgetmodellen verwendet[3].

Ziel der Modelle zur Risikoanalyse ist die Ermittlung eines Risikoprofils für die geplanten Strategien, wie es z.B. durch die Verteilungsfunktion einer Zielgröße gegeben ist. Die Modelle der Risikoanalyse entsprechen daher der im Kapitel B 3.7. aufgestellten Anforderung der Ermittlung von Ergebnisverteilungen. Wie im folgenden gezeigt wird, ermöglicht die Risikoanalyse auch die Verarbeitung von Intervallschätzungen über die problemrelevanten Einflußgrößen. Damit sind zwei wesentliche Anforderungen, die durch die Modelle der mathematischen Programmierung nicht erfüllt werden konnten, bei den Modellen zur Risikoanalyse berücksichtigt.

Grundlage für die Anwendung der Risikoanalyse ist die Angabe von stetigen oder diskreten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die problemrelevanten Einflußgrößen, die angeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit Ausprägungen einer Einflußgröße auftreten können. Werden z.B. die Einflußgrößen Rohstoffpreis (RP) und Absatzmenge (AM) als problemrelevant für die Beurteilung von bestimmten Strategien erachtet, so könnten z.B. durch Befragung folgende Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermittelt worden sein:

1 Vgl. Hertz, D.B., Risk, Analysis in Capital Investment. In: HBR, Vol. 42 (1964), No. 1, S. 95 ff.; Derselbe, Investment Policies that Pay off. In: HBR, Vol. 46 (1968), No. 1, S. 96 ff.

2 Vgl. Heider, M., Simulationsmodell zur Risikoanalyse für Investitionsplanung, Diss. Bonn 1969.

3 Vgl. z.B. Schmidthals, J. und Daudt, W., a.a.O., S. 501 ff.; Meller, F. Computergestützte Investitionsplanung mittels Risikoanalyse. In: AI, 16. Jg. (1974), S. 176 ff.

RP /GE/ME/	w(RP)	AM /ME/	w(AM)
$50 \leq RP < 60$	0,20	$240 \leq AM < 260$	0,40
$60 \leq RP < 65$	0,30	$220 \leq AM < 240$	0,30
$65 \leq RP < 70$	0,50	$200 \leq AM < 220$	0,30

Tab. 7: Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Durchführung einer Risikoanalyse

Bei der Risikoanalyse wird nun wie folgt vorgegangen: Mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators werden für eine vorzugebende Strategie Realisationen von RP und AM aus den angegebenen Intervallen erzeugt. Mit diesen Werten wird mit Hilfe eines Modells die Ausprägung einer Zielgröße berechnet und gespeichert[1]. Dieser Prozeß wird für einen bestimmten Stichprobenumfang wiederholt. Nach Abschluß des Experiments wird für die gespeicherten Werte durch Bildung von Klassen und Auszählung der Klassenbesetzung (Anzahl der Werte der Zielgröße, die in eine bestimmte Klasse fallen) eine Häufigkeitsverteilung gebildet; d.h. eine empirische Wahrscheinlichkeitsverteilung. Die aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung zu bildende Verteilungsfunktion der Zielgröße ergibt dann das Risikoprofil einer Strategie, das zu ihrer Beurteilung herangezogen wird.

Der Vorteil der Risikoanalyse ist darin zu sehen, daß für gegebene Inputverteilungen die entsprechende Outputverteilung durch einen Zufallsprozeß ermittelt werden kann[2]. Fraglich ist nur, ob diese Vorgehensweise auf mehrstufige Probleme langfristiger Unternehmungsplanung in dieser Form übertragen werden sollte.

Problematisch beim Verfahren der Risikoanalyse ist die einmalige und zeitablaufunabhängige Form der Datenschätzung. Im Zusammenhang mit der Ermittlung problemrelevanter Umweltverläufe wurde im Teil B dieser Arbeit gezeigt, daß durch begründeten Ausschluß von Ereignisfolgen bzw. durch begrün-

1 Dieses Modell ist z.B. bei dem von Schmidthals und Daudt konzipierten Planungsverfahren durch ein Budget-Modell gegeben, d.h. für jede Stichprobe wird eine Bilanz und eine GuV-Rechnung ermittelt. Vgl. Schmidthals, J. und Daudt, W., a.a.O., S. 502. Auf die Auswertung dieser Bilanzen und GuV-Rechnungen wird an späterer Stelle noch eingegangen.

2 Eine direkte Ermittlung der Outputverteilung durch Faltung der Inputverteilungen ist in vielen Fällen nicht möglich. Vgl. hierzu Heider, M., a.a.O., S. 2 ff.

deten Ausschluß der beliebigen Kombinierbarkeit von Ausprägungen unsicherer Einflußgrößen die Anzahl der zu erfassenden Umweltverläufe erheblich zu reduzieren ist[1]. Weiter wurde vorgeschlagen, zunächst qualitativ zu unterscheidende Umweltverläufe zu schätzen, und den qualitativ unterschiedenen Umweltzuständen erst dann Intervallschätzungen der Einflußgrößen zuzuordnen. Auf diese Weise konnte einmal das zu berücksichtigende Datenvolumen reduziert werden und zum anderen ergaben sich sinnvolle Umweltverläufe, die zu einem Zustandsbaum zusammengefaßt werden konnten.

Derartige Maßnahmen verlangt die Risikoanalyse nicht; denn bei einem mehrperiodigen Planungsproblem werden bei Anwendung der Risiko-Analyse aus einer einmal bestimmten Verteilung unabhängig vom Zeitablauf Realisationen der unsicheren Einflußgrößen durch eine Zufallsstichprobe gezogen, die dann noch beliebig untereinander kombiniert werden können[2]. Im Extremfall kann folglich eine sehr gute Absatzsituation unmittelbar auf eine sehr ungünstige Absatzsituation folgen und dieser Wechsel des Umweltzustandes kann sich von Periode zu Periode wiederholen. Bei getrennter Zufallszahlenziehung für die erfaßten Einflußgrößen[3] kann weiter nicht ausgeschlossen werden, daß unsinnige Kombinationen von Umweltzuständen in der gezogenen Stichprobe enthalten sind. Bezogen auf die Struktur eines Zustandsbaums bedeutet das, daß im Zeitablauf ein Springen von "Ast zu Ast" möglich ist; d.h. es kann nicht sichergestellt werden, daß die gezogenen Umweltzustände im Zustandsbaum nur auf einem Kantenzug liegen, bzw. Elemente eines Umweltverlaufs U_j sind. Können bestimmte Kombinationen bzw. Folgen von Umweltzuständen bei den problemrelevanten Einflußgrößen ausgeschlossen werden - was sicherlich in vielen Fällen möglich und sinnvoll ist - so muß ein Anwender der Risikoanalyse mit Verzerrungen des Risikoprofils rechnen; d.h. mit der Verzerrung einer wesentlichen Entscheidungsgrundlage.

---

1 Vgl. Kapitel B 3.3.4.1.

2 Auch wenn mit im Zeitablauf steigenden Varianzen bei Verwendung statistischer Verteilungen gearbeitet wird, ändert das nichts an der zeitablaufunabhängigen Erzeugung von Realisationen der Einflußvariablen.

3 Eine getrennte Zufallszahlenziehung ist dann sinnvoll, wenn die erfaßten Einflußgrößen keine gleichgerichtete Entwicklung aufweisen.

Die Risikoanalyse verlangt also, daß die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der problemrelevanten Umweltvariablen zeitunabhängig und auch untereinander unabhängig sind. Das bedeutet z.B., daß das Absatzvolumen einer Periode unabhängig vom Absatzvolumen einer Vorperiode sein muß und im Zeitablauf beliebig schwanken kann. Nur in diesen Fällen kann eine Anwendung der Risikoanalyse sinnvoll sein. Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, erscheint die Anwendung der Risikoanalyse bedenklich[1].

Auch wenn man unterstellt, daß die Ausprägungen unsicherer Einflußgrößen zeitunabhängig und auch untereinander unabhängig sind, verstößt die Risikoanalyse gegen eine weitere Anforderung an Planungsmodelle. Unter der Voraussetzung, daß bei der Strategienformulierung zukünftige Entscheidungsmöglichkeiten gegeben sind (Strategiewechsel in Abhängigkeit von den eingetretenen Umweltzuständen), ist, wie der Vergleich zwischen starrer und flexibler Planung zeigte, die Ausnutzung dieses Handlungsspielraums notwendig, wenn Verstöße gegen die Zielsetzung vermieden werden sollen. Die Ausnutzung vorhandenen Handlungsspielraums ist bei Anwendung der Risikoanalyse aber nicht möglich[2]. Das Verfahren der Risikoanalyse setzt zur Ermittlung einer Ergebnisverteilung voraus, daß die zu untersuchenden Strategien für den gesamten Planungszeitraum fest vorzugeben sind, d.h. Strategiewechsel in Abhängigkeit von eingetretenen Umweltzuständen können nicht berücksichtigt werden.

Die Anwendung der Risikoanalyse muß deshalb auf Planungssituationen beschränkt bleiben, in denen Strategiemengen ohne Entscheidungsspielraum zu untersuchen sind und bei denen die Unterstellung der zeitablaufunabhängigen Entwicklung unsicherer Einflußgrößen gerechtfertigt ist.

---

1 Eine Anwendung der Risikoanalyse in diesen Situationen gibt D. Schneider recht, der sinngemäß behauptet, daß dann Nachdenken durch das Ziehen von Zufallszahlen ersetzt wird. Vgl. Schneider, D., Investition und Finanzierung, a.a.O., S. 76. Schneider bezieht diese Behauptung allerdings generell auf die Simulationsmethode. In den folgenden Kapiteln wird jedoch gezeigt, daß gerade die Simulationsmethode intensives Nachdenken erfordert.

2 Auf diesen Mangel der Risikoanalyse weisen Hespos und Strassmann hin. Vgl. Hespos, R.F. und Strassmann, P.A., Stochastic Decision Trees for the Analysis of Investment Decisions. In: MS, Vol. 11 (1965), No. 10, S. B-247.

3.2. *Entwicklung der Grundstruktur eines Simulationsmodells zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung*

Im folgenden wird die Grundstruktur eines stochastischen Simulationsmodells zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung entwickelt. Als Ausgangsbasis wird ein zeitorientiertes deterministisches Modell gewählt, mit dem die Konsequenzen geplanter Strategien berechnet werden. Dabei wird auf das in den Kapiteln C 1.1. und C 1.2.1. verwendete Beispiel zurückgegriffen. Das deterministische Modell bildet also die Ausgangsbasis für ein Modell mit stochastischen Eingabefolgen. Die Darstellung der Vorgehensweise der Strategienbewertung und Strategienauswahl bei stochastischen Eingabefolgen erfolgt getrennt nach Planungssituationen mit und ohne zukünftigen Handlungsspielraum. Anschließend wird gezeigt, welche Informationen über die zeitliche Entwicklung eines Systems mit Hilfe der stochastischen Simulation zusätzlich zu gewinnen sind.

3.2.1. *Ein deterministisches Modell als Ausgangsbasis*

Für die Formulierung eines deterministischen zeitorientierten Simulationsmodells wird das Konzept einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung aufgegriffen, das eine konsequente Trennung von Zahlungs- und Erfolgsströmen vorsieht. Dies ist auch im Rahmen langfristiger Unternehmungsplanung zur Beurteilung alternativer Unternehmungsstrategien als sinnvoll anzusehen. Dieses Konzept führt zu drei verbundenen Teilplänen, nämlich einer Planbilanz, einer Plan-Gewinn- und Verlustrechnung sowie zu einer Finanzrechnung bzw. einem Finanzplan[1].

Auf der Grundlage des in Kapitel C 1.1. eingeführten Beispiels und den dort angegebenen Prämissen wird nun zunächst der Aufbau einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung beschrieben[2].

---

1 Zum Konzept der integrierten Finanz- und Erfolgsplanung vgl. Chmielewicz, K., Integrierte Finanz- und Erfolgsplanung, Stuttgart 1972, S. 6 ff.

2 Zur Gegenüberstellung der Planungsansätze der mathematischen Programmierung und der Simulationsmethode wurde ein einheitliches Beispiel gewählt. Dadurch wird die Darstellung der grundsätzlichen Vorgehensweise der hier beschriebenen alternativen Planungstechniken erleichtert.

In der Finanzrechnung bzw. dem Finanzplan werden alle relevanten Zahlungsströme getrennt nach Einnahmen und Ausgaben erfaßt. Abgestimmt auf das verwendete Beispiel kann ein Finanzplan wie folgt aufgebaut werden:

Finanzplan

Einnahmen		Ausgaben	
FE	Einnahmen aus der Auflösung von Finanzinvestitionen	Ausgaben für Finanzinvestitionen	FA
FKA	Aufnahme von Krediten	Tilgung von Krediten	FTI
FZE	Zinseinnahmen	Zinsausgaben	FZA
FV	Nettoverkaufseinnahmen	Investitionsausgaben	FIN

In der Erfolgsrechnung bzw. der Plan-Gewinn- und Verlustrechnung sind sämtliche im Beispiel relevanten Erfolgsströme getrennt nach Aufwand und Ertrag erfaßt. Für das verwendete Beispiel ergibt sich folgende Plan-Gewinn- und Verlustrechnung:

Plan GuV

Aufwand		Ertrag	
GZA	Zinsaufwand	Zinsertrag	GZE
GA	Abschreibungen	Gesamtdeckungsbeitrag	GDB
GG	Periodengewinn[1]		

Die Plan-Gewinn- und Verlustrechnung sowie der Finanzplan sind mit der Planbilanz verbunden, die für das Beispiel wie folgt aufgebaut werden kann:

Plan-Bilanz

Aktiva		Passiva	
BAV	Anlagevermögen	Eigenkapital	BEK
BFA	Finanzinvestition	Fremdkapital	BFK
BKB	Zahlungsmittelbestand[2]	Periodengewinn	GG[3]

1 Für Periodenverluste ist eine eigene Variable nicht notwendig. Für GG<0 wird der Wert auf der Ertragsseite ausgewiesen.

2 Unter den Prämissen des Beispiels gilt für t=0,...,T: BKB(t)=0, da alle Anlagemöglichkeiten ausgenutzt werden.

3 Unter den Prämissen des Beispiels ist der ausgewiesene Gewinn am Ende einer Periode als Gewinnvortrag zu interpretieren, der in der Folgeperiode in voller Höhe dem Eigenkapital zugeschlagen wird.

Mit dem Aufbau dieser drei Teilpläne sind für das Beispiel alle wesentlichen Variablen für das zu entwickelnde zeitorientierte Simulationsmodell definiert. Für die übrigen Daten des Beispiels gelten die bisher verwendeten Symbole unverändert. Für die Kapazitätsgrenze wird zusätzlich das Symbol KG eingeführt, für den finanziellen Überschuß einer Periode FUE.

Im folgenden werden die zur Simulation des abgebildeten Systems notwendigen Gleichungen entwickelt. Die Reihenfolge bei der Entwicklung der Gleichungen folgt dabei der für die Programmierung dieses Beispiels notwendigen Ablauflogik und nicht der durch den Aufbau der Planrechnung gegebenen Folge.

(1) Entwicklung der Produktionskapazität:
Die insgesamt zur Verfügung stehende Produktionskapazität ist von der vorzugebenden Investitionsstrategie $X=\{X_0, X_1, \ldots, X_{T-1}\}$ abhängig. Für die zeitliche Entwicklung der Kapazität gilt:

$$KG(t) = KG(t-1) + KAP \cdot X(t).$$

KG(t-1): Produktionskapazität zu Beginn einer Periode

KG(t) : Produktionskapazität am Ende einer Periode = Kapazität zu Beginn der Folgeperiode.

(2) Investitionsausgaben:
Für die unmittelbar vor einem Zeitpunkt t anfallenden Investitionsausgaben gilt:

$$FIN(t) = A \cdot X(t).$$

(3) Abschreibungen:
Unter der vereinfachenden Voraussetzung, daß vor dem Planungshorizont T kein Aggregat voll abgeschrieben ist, können die Abschreibungen bei einem Abschreibungsfaktor AP (lineare Abschreibung) wie folgt definiert werden:

$$GA(t+1) = GA(t) + FIN(t) \cdot AP.$$

(4) Entwicklung des Anlagevermögens:
Für die zeitliche Entwicklung des Anlagevermögens gilt:

$$BAV(t) = BAV(t-1) + FIN(t) - GA(t),$$

d.h. das Anlagevermögen am Ende einer Periode BAV(t) ergibt sich aus der Summe des zu Beginn einer Periode vorhandenen Anlagevermögens und der Investitionsausgabe im Zeitpunkt t abzüglich der Abschreibungen GA(t) auf das zu Beginn einer Periode vorhandene Anlagevermögen.

(5) Absatz- bzw. Produktionsmenge:
Die maximale Produktions- bzw. Absatzmenge je Planperiode wird zum einen durch die Produktionskapazität zu Beginn einer Periode, zum anderen durch die Absatzhöchstmenge AB(t) bestimmt. Es gilt folglich:

$$Y(t) = \min \{KG(t-1), AB(t)\}.$$

Die Produktions- bzw. Absatzmenge wird folglich durch das Modell bestimmt, wobei die Absatz- und Kapazitätsrestriktionen beachtet werden. Gleichungen dieses Typs werden auch als Verhaltensgleichungen (behavioral equations[1]) bezeichnet. Sie werden dann verwendet, wenn durch das Modell Entscheidungen zu treffen sind.

(6) Deckungsbeitrag je Periode:
Für den Deckungsbeitrag je Periode gilt:

$$GDB(t) = Y(t) \cdot DS.$$

Da wegen der für das hier verwendete Beispiel geltenden Prämissen eine Differenzierung von Einnahmen und Erträgen nicht notwendig ist, gilt für die Nettoverkaufseinnahmen[2]:

$$FV(t) = GDB(t).$$

(7) Aufgelöste Finanzinvestitionen und Zinseinnahmen:
Aufgrund der Prämissen des Beispiels fließen die im Zeitpunkt t am Kapitalmarkt angelegten finanziellen Mittel einschließlich Zinsen im Zeitpunkt t+1 zurück. Es gilt daher:

---

1 Vgl. z.B. Naylor, T.H., Computer Simulation Experiments with Economic Systems, a.a.O., S. 79.

2 Diese Prämisse ist, wie das Beispiel in Kapitel C 2.2. zur zeitorientierten Simulation zeigt, durch Einführung einer Bestandsgröße Forderungen leicht aufzuheben. Anzugeben ist dann eine Relation, die das Zahlungsverhalten der belieferten Kunden definiert.

$$FE(t) = FA(t-1),$$
$$FZE(t) = FA(t-1) \cdot ZA.$$

Für den Zinsertrag gilt:

$$GZE(t) = FZE(t).^{1}$$

(8) Tilgung aufgenommener Kredite und Zinsausgaben:
Aufgrund der Prämissen des Beispiels sind die in Zeitpunkt t aufgenommenen Kredite zum Zeitpunkt t+1 einschließlich Zinsen zurückzuzahlen.

Es gilt daher:

$$FTI(t) = FKA(t-1),$$
$$FZA(t) = FKA(t-1) \cdot ZK.$$

Für den Zinsaufwand gilt:

$$GZA(t) = FZA(t).$$

(9) Finanzieller Überschuß bzw. Finanzbedarf einer Periode:
Für den finanziellen Überschuß bzw. Finanzbedarf einer Periode vor der durch das Modell zu treffenden Finanzierungsentscheidung gilt:

$$FUE(t) = FE(t) + FZE(t) + FV(t) - FTI(t) - FZA(t) - FIN(t).$$

Das finanzielle Ergebnis einer Periode (Finanzbedarf bzw. Finanzüberschuß) entspricht dem Betrag, der am Kapitalmarkt angelegt werden kann bzw. dem Betrag, der am Kapitalmarkt zu beschaffen ist.

(10) Kreditaufnahme bzw. Anlage finanzieller Überschüsse:
Aufgrund der Prämissen kann zu einem festen Zinssatz ZK ein Kredit in ausreichender Höhe aufgenommen werden. Die Höhe des aufzunehmenden Kredits ist vom finanziellen Ergebnis einer Periode FUE(t) abhängig. Für die Kreditaufnahme gilt:

$$FKA(t) = \begin{cases} 0, \text{ für } FUE(t) > 0, \\ |FUE(t)|, \text{ für } FUE(t) \leq 0. \end{cases}$$

---

1 Eine Unterscheidung zwischen Zinsertrag und Zinseinnahmen ist unter den Prämissen des Beispiels nicht notwendig. Die Werte können deshalb gleichgesetzt werden.

Sind finanzielle Überschüsse vorhanden, so können diese am Kapitalmarkt zu einem Zinssatz ZA angelegt werden. Die Höhe der möglichen Finanzinvestitionen wird ebenfalls vom finanziellen Ergebnis einer Periode bestimmt. Es gilt:

$$FA(t) = \begin{cases} 0, \text{ für } FUE(t) \leq 0, \\ FUE(t), \text{ für } FUE(t) > 0. \end{cases}$$

Die Finanzierungsentscheidung kann unter den hier geltenden Prämissen vom Modell durch die oben formulierten Verhaltensgleichungen vorgenommen werden.

Bei einer differenzierten Betrachtung der Finanzierungsvariablen können einmal mehrere Verhaltensgleichungen zu einem Finanzierungsmodul zusammengefaßt werden[1]. In Abhängigkeit vom Systemzustand und unter Berücksichtigung von Prioritäten und Ober- bzw. Untergrenzen kann eine differenzierte Finanzierungsentscheidung vom Modell vorgenommen werden. Eine andere Möglichkeit ist die Ergänzung der Investitionsstrategie um geplante Finanzierungsmaßnahmen. In diesem Fall sind die Finanzierungsentscheidungen vom Modellbenutzer in Form geplanter Strategien zu formulieren.

(11) Periodengewinn bzw. Periodenverlust:
Für den Gewinn bzw. Verlust einer Periode gilt:

$$GG(t) = GDB(t) + GZE(t) - GA(t) - GZA(t).^{2}$$

(12) Bilanzpositionen:
Da keine Entnahmen vorgesehen sind, führt der Periodengewinn in voller Höhe zu einer Erhöhung des Eigenkapitals der Folgeperiode. Es gilt:

$$BEK(t+1) = BEK(t) + GG(t).$$

Für den Bestand an Fremdkapital bzw. Finanzinvestitionen am Ende einer Periode gilt:

---

1 Vgl. z.B. Leist, G. und Tröscher, H., a.a.O., S. 69 ff.

2 Verlustvorträge sind im Modell nicht vorgesehen, jedoch ohne weiteres zu berücksichtigen.

$$BFA(t) = FA(t),$$
$$BFK(t) = FKA(t).$$

(13) Als Zielgröße wird weiterhin das Endvermögen verwendet. Das Endvermögen entspricht dem finanziellen Überschuß der letzten Periode FUE(T). Es gilt:

$$V(T) = FUE(T).$$

Sind die Anfangsbestände KG(0), FA(0), FKA(0), BEK(0) sowie die Daten des Problems A, DS, ZA, ZK und AB(1),...,AB(T) bekannt, so kann eine Zustandsgeschichte des Systems für eine vorzugebende Investitionsstrategie $X = (X_0, X_1, \ldots, X_{T-1})$ mit Hilfe des entwickelten zeitorientierten Simulationsmodells ermittelt werden. Dabei sind die erklärenden Eingabefolgen für die Simulation durch eine Strategie $X=(X_0, X_1, \ldots, X_{T-1})$ sowie eine Folge von Absatzhöchstmengen $(AB_1, \ldots, AB_T)$ gegeben. Die zu erklärenden Ausgabefolgen hängen vom Interesse des Planungsträgers ab.

Sollen z.B. die Entwicklung des Periodengewinns und des finanziellen Überschusses einer Periode durch die Eingabefolgen erklärt werden, so bildet das entwickelte Simulationsmodell ein formales System $S=(\{MX, MAB, MGG, MFUE\}, R)$, wobei MX als eine Folge von Investitionsentscheidungen $X_0, X_1, \ldots, X_{T-1}$, MAB als eine Menge von Folgen der Absatzhöchstmengen $AB_1, \ldots, AB_T$, MGG als eine Menge von Gewinnfolgen $GG_1, \ldots, GG_T$ und MFUE als eine Menge von Folgen des finanziellen Periodenüberschusses FUE(1),...,FUE(T) zu interpretieren ist. Die über diese Menge definierte Relation $R \subset MX \times MAB \times MGG \times MFUE$ ordnet bei gegebenen Anfangsbeständen KG(0), FA(0), FKA(0) und BEK(0) den Zahlenfolgen X und AB Zahlenfolgen von GG und FUE zu, wobei für t=0,...,T gilt:

(1) $FUE(t) = FE(t) + FZE(t) + FV(t) - FTI(t) - FZA(t) - FIN(t)$

mit $FE(t) = FA(t-1)$
$FZE(t) = FA(t-1) \cdot ZA$
$FV(t) = Y(t) \cdot DS$
$FTI(T) = FKA(t-1)$
$FZA(t) = FKA(t-1) \cdot ZK$
$FIN(t) = X(t) \cdot A$

und $KG(t) = KG(t-1) + X(t) \cdot KAP$

$Y(t) = \min \{KG(T-1), AB(t)\}$

$FKA(t) = |\min \{0, FUE(t)\}|$

$FA(t) = \max \{0, FUE(t)\}$

(2) $GG(t) = GDB(t) + GZE(t) - GZA(t) - GA(t)$

mit $GDB(t) = FV(t)$

$GZE(t) = FZE(t)$

$GZA(t) = FZA(t)$

$GA(t+1) = GA(t) + FIN(t) \cdot AP.$

Zur Ermittlung konkreter Zustandsgeschichten ist das Modell zweckmäßigerweise zu programmieren[1].

Für einen Planungszeitraum von 4 Planperioden zu je einem Jahr wurde mit dem Programm FSM1[1] das folgende Zahlenbeispiel durchgerechnet:

Investitionsstrategie:		$X = (X_0=4, X_1=0, X_2=0, X_3=0)$
Absatzhöchstmengen	:	$AB_1=350, AB_2=200, AB_3=400, AB_4=400$
Deckungsspanne	:	$DS = 5$
Anschaffungsausgabe	:	$A = 1000$
Zinssätze	:	$ZA = ZK = 0{,}05$
Kapazität je Aggregat:		100

Die für die Rechnung vorzugebenden Anfangsbestände wurden den Prämissen des Beispiels entsprechend mit Null angesetzt. Für die angegebene Investitionsstrategie ergab sich dann die folgende Zustandsgeschichte des finanziellen Periodenüberschusses und des Periodengewinns:

$GG_1 = 1150.00$	$FUE_1 = -2450.00$
$GG_2 = 477.50$	$FUE_2 = -1572.50$
$GG_3 = 1521.38$	$FUE_3 = 348.88$
$GG_4 = 1617.44$	$FUE_4 = 2366.22.$

1 Das entsprechende Fortran IV Programm (FSM1) mit dem entsprechenden Programmablaufplan befindet sich im Anhang I, S. 179.

Abb. 20: Zustandsgegenüberstellung des Systems in Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung bei der vorgegebenen Strategie

Entwicklung der Bilanz

	T=1	T=2	T=3	T=4	T=1	T=2	T=3	T=4	
BAV	3600.00	3200.00	2800.00	2400.00	0.0	1150.00	1627.50	3148.88	BFK
BFA	0.0	0.0	348.88	2366.32	2450.00	1572.50	0.0	0.0	BFK
BKB	0.0	0.0	0.0	0.0	1150.00	477.50	1521.38	1617.44	GG
	3600.00	3200.00	3148.88	4766.32	3600.00	3200.00	3148.88	4766.32	

Entwicklung der GuV

	T=1	T=2	T=3	T=4	T=1	T=2	T=3	T=4	
GA	400.00	400.00	400.00	400.00	1750.00	1000.00	2000.00	2000.00	GDB
GZA	200.00	122.50	78.62	0.0	0.0	0.0	0.0	17.44	GZE
GG	1150.00	477.50	1521.38	1617.44					
	1750.00	1000.00	2000.00	2017.44	1750.00	1000.00	2000.00	2017.44	

Entwicklung der Finanzrechnung

	T=1	T=2	T=3	T=4	T=1	T=2	T=3	T=4	
FV	1750.00	1000.00	2000.00	2000.00	0.0	0.0	0.0	0.0	FIN
FE	0.0	0.0	0.0	348.88	0.0	0.0	348.88	2366.32	FA
FZE	0.0	0.0	0.0	17.44	200.00	122.50	78.62	0.0	FZA
FKA	2450.00	1572.50	0.0	0.0	4000.00	2450.00	1572.50	0.0	FTI
					0.0	0.0	0.0	0.0	BKB
	4200.00	2572.50	2000.00	2366.32	4200.00	2572.50	2000.00	2366.32	

Die vollständige Zustandsgeschichte in Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung zeigt die Abbildung 20. Das mit der getesteten Strategie erzielbare Endvermögen beträgt demnach 2366.22.[1]

Das auf dem einfachen Beispiel aufgebaute Simulationsmodell ist geeignet, die Grundstruktur eines deterministischen zeitorientierten Simulationsmodells aufzuzeigen. Für praktische Planungszwecke ist dieses Modell selbstverständlich um die im Rahmen langfristiger Unternehmungsplanung relevanten Erfolgs- und Zahlungsströme zu erweitern. Da es Ziel dieser Arbeit ist, die grundsätzliche Vorgehensweise im Rahmen langfristiger Unternehmungsplanung aufzuzeigen, wurde bewußt ein einfaches Beispiel gewählt, da wie bereits erwähnt, auch an diesem einfachen Beispiel die grundsätzlichen Unterschiede der Planungsverfahren dargestellt werden können.

Die Verwendung von Simulationsmodellen mit stochastischen Eingabefolgen im Rahmen langfristiger Unternehmungsplanung ist Gegenstand der folgenden Kapitel.

3.2.2. *Strategienbewertung und Strategienauswahl bei stochastischen Eingabefolgen*

3.2.2.1. *Methodische Grundlagen der Erstellung von Zustandsgeschichten bei stochastischen Eingabefolgen*

Im Gegensatz zu den Modellen der Risikoanalyse wird im folgenden davon ausgegangen, daß die Erwartungen eines Planungsträgers über die alternativ möglichen Umweltzustände in Form eines Zustandsbaums vorliegen. Weiter wird unterstellt, daß die möglichen Umweltzustände zunächst qualitativ unterschieden werden, wie z.B. "guter Konjunkturverlauf", "schlechter Konjunkturverlauf", und daß diesen qualitativ unterschiedenen Umweltzuständen Intervallschätzungen über die problemrelevanten unsicheren Einflußgrößen zugeordnet sind. Die Behandlung dieser Planungssituation in einem Simulationsmodell erfordert die Einbeziehung von Monte-Carlo-Methoden für die Erzeu-

---

1 Dieser Betrag entspricht der Finanzinvestition FA(T) im Zeitpunkt T. Für FA(T) gilt: FA(T) = FUE(T) = V(T), bei FUE(T)>0.

gung von Zufallszahlen, die zwei unterschiedlichen Zwecken dienen. Einmal kann mit ihrer Hilfe ein bestimmter Umweltzustand erzeugt werden, wobei die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Umweltzustandes durch den Glaubwürdigkeitsgrad bestimmt wird, der einer Kante des Zustandsbaumes auf dem Weg zu diesem Umweltzustand zugeordnet ist. (Durch die Ziehung von Zufallszahlen wird folglich die Möglichkeit geschaffen, die Erwartungsstruktur eines Planungsträgers im Modell zu erfassen.) Zum anderen dienen die Zufallszahlen dazu, bei Eintritt eines bestimmten Umweltzustandes einen Wert aus den diesem Zustand zugeordneten Intervallschätzungen der unsicheren Größen zu erzeugen. Die Anwendung der Monte-Carlo-Methode dient folglich dazu, bestimmte Ereignisfolgen in einem Zustandsbaum zu erzeugen. Dabei kann im Gegensatz zur Risikoanalyse die Abhängigkeit der unsicheren Einflußgrößen erfaßt werden.

Grundlage für die Erzeugung von Umweltzuständen bzw. von Realisationen problemrelevanter Einflußgrößen sind Zufallszahlengeneratoren, die gleichverteilte Zufallszahlen erzeugen, die zur Unterscheidung von echten Zufallszahlen auch als Pseudo-Zufallszahlen bezeichnet werden[1]. Zur Erzeugung gleichverteilter Zufallszahlen sind eine Reihe von mathematischen Verfahren bekannt[2]. Als Beispiel wird die von Lehmer entwickelte "multiplikative Kongruenzmethode" angeführt[3]. Dieser Methode liegt folgende Beziehung zugrunde:

$$Z_{i+1} = a \cdot Z_i \pmod{m}$$

Diese Beziehung gibt an, daß die letzte gezogene Zufallszahl Z_i mit einer Konstanten a zu multiplizieren ist. Dieses Produkt wird durch m dividiert und der ganzzahlige Rest ergibt die neue Zufallszahl. Diese Methode erzeugt Zahlenfolgen, deren Werte zwischen 1 und m-1 liegen[4]. Dividiert man die Zahlen der Folge durch m, so erhält man gleichverteilte Zufallszahlen aus dem Intervall $\langle 0,1 \rangle$.

---

1 Vgl. z.B. Emshoff, R.J. und Sisson, R.L., a.a.O., S. 176.

2 Zur Technik der Zufallszahlenerzeugung vgl. z.B. Koxholt, R., a.a.O., S. 45 ff.; Krüger, S., Simulation - Grundlagen, Techniken Anwendungen, Berlin und New York 1975, S. 106 ff.; Naylor, T.H., Computer Simulation Experiments with Economic Systems, a.a.O., S. 396 ff.

3 Vgl. Lehmer, D., Mathematical Methods in Large Scale Computing Units. In: Annals of the Computer Laboratory, Harvard University, Vol. 26 (1951), S. 141 ff.

4 Voraussetzung ist, daß m, a und Z_o entsprechend gewählt wurden.

Z.B. ergibt sich für m=11, a=6 und Z_0=5 für Z_1 der Wert 8. Bei einer Reihe von Ziehungen ergibt sich dann die Zahlenfolge: 5,8,4,2,1,6,3,7,9,10,5 bzw. 0.454545 0.727272 usw. Damit sich die Zahlenfolge nicht wie bei diesem Beispiel zu schnell wiederholt, sind m, a und die Startzahl Z_i entsprechend festzulegen[1].

Die Zufallszahlen aus dem Intervall $\langle 0,1 \rangle$ können nun zunächst dazu verwendet werden, entsprechend der Erwartungsstruktur eines Planungsträgers bestimmte Umweltzustände eines Zustandsbaums zu erzeugen. Zur Verdeutlichung dient das folgende Beispiel:

Umweltzustand	Glaubwürdigkeit	Absatz in ME
guter Konjunkturverlauf	0,20	$300 \leq Y < 350$
mittlerer Konjunkturverlauf	0,50	$250 \leq Y < 300$
schlechter Konjunkturverlauf	0,30	$200 \leq Y < 250$

Aus dieser Erwartungsstruktur kann eine "Verteilungsfunktion" der Glaubwürdikeiten ermittelt werden, die in der folgenden Abbildung dargestellt ist[2].

Wird z.B. die Zufallszahl Z_i=0,727272 gezogen, so legt diese Zufallszahl den subjektiv bestimmten Vorstellungen des Planungsträgers entsprechend den Umweltzustand "mittlerer Konjunkturverlauf" fest. Abbildung 21 zeigt folglich, wie mit Hilfe gleichverteilter Zufallszahlen Ereignisse erzeugt werden, die einer anderen Verteilung, in diesem Fall einer subjektiven Glaubwürdigkeitsverteilung, unterliegen[3].

1 Vgl. hierzu Emshoff, J.R. und Sisson, R.L., a.a.O., S. 176 ff.; Witte, T., a.a.O., S. 146 f. Mit Hilfe zahlentheoretischer Untersuchungen läßt sich zeigen, welche Länge die Periode einer Zahlenfolge in Abhängigkeit von a und m annimmt. Für $m=2^b$, $a \approx 2^{b/2}$ und b=31 läßt sich z.B. zeigen, daß die Periodenlänge der Zahlenfolge im Bereich 10^9 liegt. Vgl. hierzu z.B. Krüger, S., a.a.O., S. 106 ff.

2 Vgl. hierzu z.B. Koxholt, R., a.a.O., S. 43.

3 Diese Vorgehensweise kann bei beliebigen diskreten oder stetigen Verteilungen angewendet werden. Vgl. z.B. Emshoff, J.R. und Sisson, R.L., a.a.O., S. 177 ff.

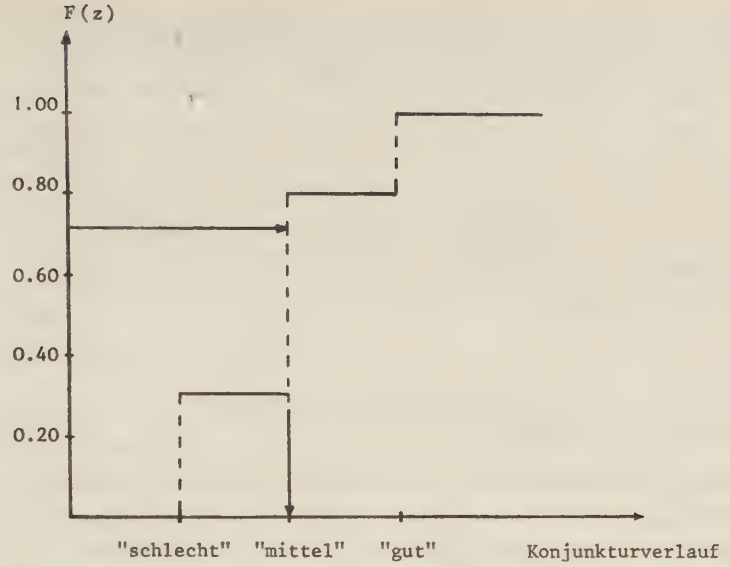


Abb. 21: Erzeugung von qualitativ unterschiedenen Umweltzuständen entsprechend einer subjektiv bestimmten Glaubwürdigkeitsverteilung mit Hilfe gleichverteilter Zufallszahlen aus dem Intervall $\langle 0,1 \rangle$

Im Simulationsmodell ist nun mit den Werten zu rechnen, die aus dem diesem Umweltzustand zugeordneten Schätzintervall stammen. Dem Ereignis "mittlerer" Konjunkturverlauf war ein Intervall der Absatzmengen von $250 \leq Y < 300$ zugeordnet. Aus diesem Intervall kann mit Hilfe einer weiteren gleichverteilten Zufallszahl Z_i eine bestimmte Absatzmenge aus dem Intervall $Y_{min}=250$ bis $Y_{max}=300$ gezogen werden[1]. Der Wert für die gleichverteilten Absatzmengen aus einem Intervall ergibt sich als:

$$Y = Y_{min} + Z_i \cdot (Y_{max} - Y_{min}).$$

1 Selbstverständlich ist es möglich, auch andere Vorstellungen über die Verteilung der Werte innerhalb eines Intervalls zu berücksichtigen, z.B. normalverteilte Werte um das Intervallmittel. Fraglich ist jedoch, ob derartige Vermutungen über die Verteilung der Werte innerhalb eines Intervalls realistisch sind. In jedem Fall ist jedoch zur Erzeugung einer Realisation aus dem über die erste Zufallszahl ermittelten Absatzmengenintervall eine weitere Zufallszahl zu ziehen, da sonst der mögliche Realisationsraum nicht abgedeckt würde. So gilt z.B. für $0.30 < Z_i \leq 0.80$, daß der mittlere Konjunkturverlauf eintritt. Verwendet man diese Zufallszahlen zur Erzeugung der entsprechenden Absatzmengen, so ergäben sich Werte von $265 < Y \leq 290$ anstelle von $250 < Y \leq 300$.

Durch Abrunden des ermittelten Wertes kann die Obergrenze Y_{max}, die nicht mehr zum Intervall gehört, nie erreicht werden. Ist z.B. Z_i=0.25678 so ergibt sich für die Absatzmenge Y ein Wert von 262 ME.

Aus diesen Ausführungen wird deutlich, daß durch Ziehung von Zufallszahlen kein beliebiger Zufallsprozeß in das Modell eingeführt wird, sondern daß mit Hilfe der gezogenen Zufallszahlen genau die Erwartungsstruktur eines Planungsträgers im Modell nachgebildet werden kann. In den folgenden Kapiteln wird gezeigt, wie diese Vorgehensweise bei der Strategienbewertung sinnvoll eingesetzt werden kann.

3.2.2.2. *Strategiesimulation bei einer Strategienmenge ohne Entscheidungsspielraum*

Die Vorgehensweise zur Strategiebewertung und Stategieauswahl wird zunächst für den Fall dargestellt, daß die zu untersuchenden Strategien keine Entscheidungsmöglichkeiten in den Folgeperioden zulassen. Einen Alternativenbaum, der diese Situation kennzeichnet, zeigt die Abbildung 22:

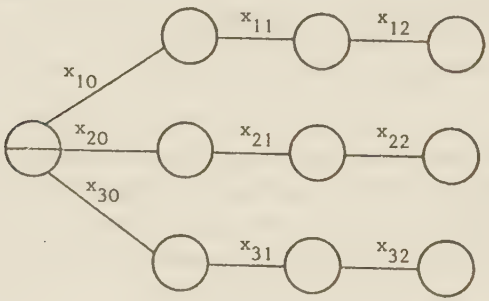


Abb. 22: Strategienmenge ohne Entscheidungsspielraum in den Folgeperioden

Planungssituationen, in denen die zu untersuchenden Strategien keine Entscheidungsmöglichkeiten in der Zukunft zulassen, liegen z.B. vor, wenn die Folgeentscheidungen technologisch determiniert sind, d.h. ausgehend von einer Anfangsentscheidung sind nur noch vorbestimmte Folgeentscheidungen möglich. Denkbar sind solche Planungssituationen auch dann, wenn mit Hilfe eines Modells über alternative Politiken zu entscheiden ist, die für einen längeren Zeitraum beibehalten werden sollen. Im Rahmen langfristiger Unternehmungsplanung kann es sich z.B. um alternative Gewinnverwendungspolitiken

oder Finanzierungspolitiken handeln. In diesem Fall sind von vornherein keine Entscheidungsmöglichkeiten eingeplant. Zu bestimmen ist dann die Politik, die über den gesamten Planungszeitraum zum besten Ergebnis führt.

Liegt eine derartige Planungssituation vor, so können die Strategien bzw. Politiken unabhängig voneinander beurteilt und für den Planungszeitraum fest vorgeplant werden. Da die zu testenden Strategien bzw. Politiken bei jedem Umweltverlauf durchgeführt werden, sind zur Bestimmung der Ergebnisverteilung alle Umweltverläufe heranzuziehen. Die prinzipielle Vorgehensweise für diese Planungssituation wird im folgenden beschrieben und an einem Beispiel demonstriert.

Grundlage des Planungsverfahrens ist ein Zustandsbaum, der die alternativ möglichen Umweltverläufe sowie die entsprechenden Übergangswahrscheinlichkeiten angibt. Mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators wird eine Zufallszahl erzeugt, die in der oben beschriebenen Weise festlegt, welcher Umweltzustand eingetreten ist. Mit Hilfe weiterer Zufallszahlen werden dann Realisationen der unsicheren Einflußgrößen bestimmt, die aus den Schätzintervallen stammen, die dem erzeugten Umweltzustand zugeordnet sind. Für die so ermittelte Datenkonstellation werden die Ausprägungen der einbezogenen Variablen für die erste Periode berechnet, die den Ausgangszustand für die Folgeperiode festlegen. Die Ergebnisse und der eingetretene Umweltzustand werden gespeichert. In der Folgeperiode wird nun zunächst mit Hilfe des gespeicherten Zustandes der Vorperiode festgelegt, welcher Umweltzustand als Folgezustand möglich ist. Aus den möglichen Folgezuständen wird mit Hilfe einer Zufallszahl entsprechend der angegebenen Übergangswahrscheinlichkeit ein Folgezustand bestimmt und mit weiteren Zufallszahlen die in diesem Zustand möglichen Realisationen der einbezogenen Einflußgrößen ermittelt. Mit Hilfe der gezogenen Werte können dann wieder die Ausprägungen der einbezogenen Variablen berechnet werden. Die ermittelten Ergebnisse werden ebenso wie der eingetretene Umweltzustand gespeichert. Diese Vorgehensweise wird so lange fortgesetzt, bis ein Endknoten erreicht ist. Das Modell erzeugt auf diese Weise eine Zustandsgeschichte der zu erklärenden Größen, wobei, wie bereits erwähnt, im Gegensatz zur Risiko-Analyse sichergestellt ist, daß der gezogene Umweltverlauf auf einem Kantenzug des Zustandsbaumes liegt. Dieser Prozeß wird für einen vorgegebenen Stichprobenumfang wiederholt. Auf diese Weise werden sinnvolle Zustandsgeschichten erzeugt, deren formale Struktur der im Teil B dieser Arbeit abgeleiteten Struktur einer

Ergebnismenge entspricht[1]. Diese Vorgehensweise kann graphisch wie folgt veranschaulicht werden:

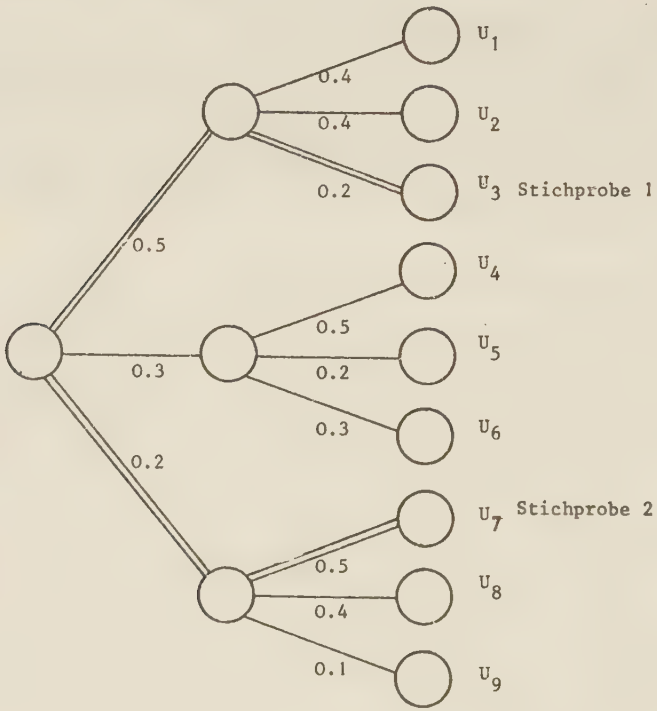


Abb. 23: Durch Zufallszahlen gesteuerte Wege durch den Zustandsbaum

Bei einem ausreichenden Stichprobenumfang ist sichergestellt, daß alle Kantenzüge des Zustandsbaumes abgearbeitet werden. Wesentlich bei diesem Verfahren ist nun, daß der Anteil, mit dem ein bestimmter Umweltverlauf in der Gesamtstichprobe enthalten ist, bei einem ausreichenden Stichprobenumfang nahezu den angegebenen Glaubwürdigkeitsgraden folgen dürfte. Bei einem ausreichenden Stichprobenumfang wird z.B. der Umweltverlauf U_5 mit einem Anteil von 6 % in der Stichprobe enthalten sein $(0.3 \cdot 0{,}2 = 0{,}06)$;[2]

1 Vgl. Kapitel B 3.5.2.

2 Der Anteil von 6 % entspricht dem theoretisch zu erwartenden Anteilswert. Wird bei einem Stichprobenumfang von n dieser Anteilswert nicht annähernd erzeugt, so ist der Stichprobenumfang so lange zu erhöhen, bis keine signifikanten Abweichungen mehr festzustellen sind.

(vgl. Abb. 23). Wesentlich ist weiter, daß die sequentielle Abarbeitung des Zustandsbaums entlang eines Kantenzuges unsinnige Kombinationen der Datenkonstellation bzw. Konstellationsfolgen ausschließt. Auf diese Weise können Verzerrungen der noch zu ermittelnden Ergebnisverteilung im Gegensatz zu den Verfahren der Risikoanalyse vermieden werden.

Die Auswertung der Zustandsgeschichten erfolgt in der im Teil B Kapitel 3.5.3. beschriebenen Weise. Sind die Ausprägungen der Zielgrößen einzelnen Perioden zugeordnet, so wird mit Hilfe eines Verdichtungsverfahrens (Summation, Aufzinsung, Diskontierung) eine auf den Planungszeitraum bezogene Zielgröße ermittelt. Werden auf den Planungshorizont bezogene Zielgrößen verwendet, ist eine derartige Verdichtung nicht notwendig. Nach Abschluß des Simulationslaufs für eine Strategie liegt für die verwendeten Zielgrößen eine Stichprobe vor, aus der durch Klassenbildung und Auszählung eine ein- bzw. mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zielgrößen ermittelt wird. Mit Hilfe der aus dieser Wahrscheinlichkeitsverteilung zu bildenden ein- bzw. mehrdimensionalen Verteilungsfunktion, die einer Strategie oder Politik zugeordnet werden kann, ist eine Beurteilung der getesteten Strategien möglich.

Die Vorgehensweise des eben beschriebenen Verfahrens wird nun mit Hilfe des hier verwendeten Standardbeispiels verdeutlicht. Den Aufbau und Ablauf des stochastischen Simulationsmodells zeigt das in Abbildung 24 dargestellte Flußdiagramm. Zu Beginn des Programms werden die Parameter sowie die Daten eingelesen, die im Planungszeitraum als sicher anzusehen sind. Im nächsten Schritt wird der Zustandsbaum eingelesen, d.h. alle den einzelnen Knoten des Baums zugeordneten Intervallschätzungen der problemrelevanten Größen sowie die den Kanten zugeordneten Obergangswahrscheinlichkeiten, die für die Steuerung des Umweltablaufs zu Obergangsverteilungen zusammenzufassen sind. Im Schritt (3) wird eine zu testende Strategie eingegeben. Danach sind Simulationszähler und Periodenzähler (4), (5) und (6) zu stellen. Der bekannte Ausgangszustand des Systems wird in Schritt (7) durch Festlegung der Anfangswerte erzeugt. Die durch die Schleife A-A eingeschlossenen Programmteile berechnen nun für jede Planperiode den Systemzustand. Das Unterprogramm REAL erzeugt mit Hilfe des verwendeten Zufallszahlengenerators RANDU[1] einen Umweltzustand in der in Kapitel C 3.2.2.1. beschriebenen Weise

1 Verwendet wird der im IBM-SSP vorhandene Zufallszahlengenerator RANDU. Vgl. IBM-Application Program, System/360 Scientific Subroutine Package, Version III, 5. Aufl., 1970, S. 77.

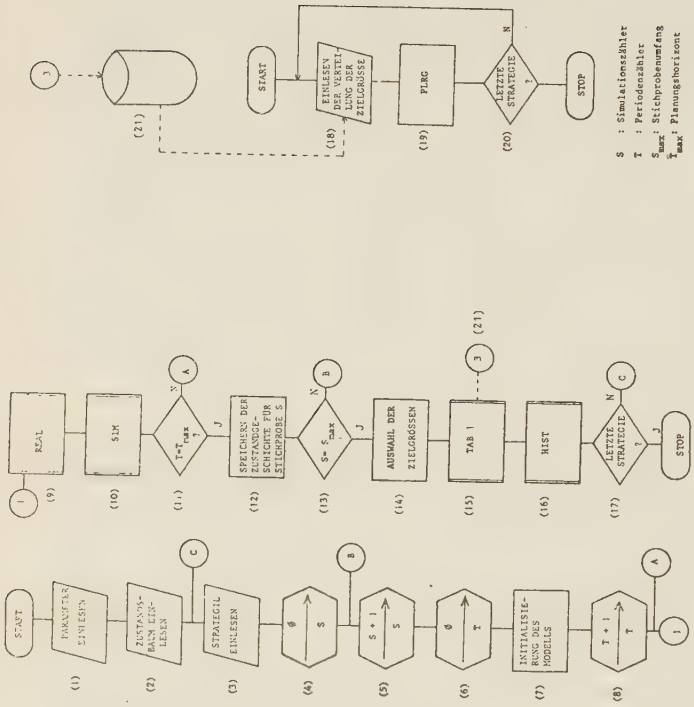


Abb. 24: Flußdiagramm für ein stochastisches Simulationsmodell

sowie Realisationen aus den diesem Zustand zugeordneten Intervallschätzungen der unsicheren Einflußgrößen. Die so bestimmte Umweltkonstellation wird an das Unterprogramm SIM übergeben, das dem in Kapitel C 3.2.1. entwickelten deterministischen Modell entspricht und die Ausprägungen der in diesem Programm erfaßten Variablen berechnet. Dieser Vorgang wird für die Folgeperioden solange wiederholt, bis ein Endknoten erreicht ist. Die dem erzeugten Umweltverlauf zuzuordnende Zustandsgeschichte - im vorliegenden Fall eine Folge von T_{max} Finanzplänen, Plan-Bilanzen und Plan-Gewinn- und Verlustrechnungen wird in einer Datei auf einem externen Speicher zwischengespeichert. In der Schleife B-B wird der eben beschriebene Prozeß entsprechend einem vorgegebenen Stichprobenumfang S_{max}-mal wiederholt. Nach Abschluß des Simulationsexperiments für eine Strategie werden aus den gespeicherten Zustandsgeschichten die Ausprägungen einer oder mehrerer Zielgrößen herausgelesen (14) und an das Unterprogramm TAB1 (15) übergeben. Das Unterprogramm TAB1 bestimmt für die im Beispiel verwendete Zielgröße Endvermögen statistische Kennzahlen wie den minimalen und maximalen Wert, die Spannweite, den Mittelwert und die Standardabweichung. Gleichzeitig wird eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung und die entsprechend Verteilungsfunktion gebildet. Die vom Unterprogramm TAB1 bestimmte Verteilungsfunktion des Endvermögens wird in einer zweiten Datei (21) zwischengespeichert. Die vom Unterprogramm TAB1 erzeugte Wahrscheinlichkeitsverteilung wird an das Unterprogramm HIST (16) weitergegeben, das diese Wahrscheinlichkeitsverteilung graphisch aufbereitet. Die Schleife C-C schließt alle für den Test einer Strategie notwendigen Programmschritte ein und wird entsprechend der Anzahl zu testender Strategien durchlaufen.

Die vom Unterprogramm TAB1 erzeugten diskreten Verteilungsfunktionen der hier verwendeten Zielgröße Endvermögen, die zunächst in einer zweiten Datei gespeichert wurden, verarbeitet dann das Programm PLRG weiter. Dieses Programm berechnet aus der diskreten Verteilungsfunktion mit Hilfe einer Polynomialregression eine stetige Verteilungsfunktion. Der Anschluß des Programms PLRG ist jedoch nur bei monovariabler Zielsetzung möglich. Bei multivariabler Zielsetzung ist die Auswertung der mehrdimensionalen Verteilungsfunktion tabellarisch vorzunehmen.

Das beschriebene Programm wurde in Fortran IV programmiert, wobei die Programme TAB1, HIST und PLRG in leicht modifizierter Form aus dem Scientific

Subroutine Package übernommen werden konnten[1].

Für die Berechnung der Ergebnisse einiger Strategien wurde folgende Datensituation zugrundegelegt:

Deckungsspanne je abgesetzter Mengeneinheit (GE/ME):	DS	= 5
Anschaffungsausgabe je Aggregat (GE/ME)	A	= 1000
Kapazität je Aggregat in (ME/ZE)	KAP	= 100
Zinssatz für Fremdkapital	ZK	= 0,05
Zinssatz für Finanzinvestitionen	ZA	= 0,05
Planungszeitraum 4 Perioden	T_{max}	= 4
Stichprobenumfang je Strategie	S_{max}	= 1000.

Die Anfangsbestände BEK(0), KG(0), FKA(0) und FA(0) wurden wie bisher mit Null angenommen. Für die Absatzmengen in den einzelnen Perioden wurde von folgender Erwartungsstruktur ausgegangen:

Konjunkturverlauf	Absatzmenge Y_t			
	t=1	t=2	t=3	t=4
"gut"	$325 \leq Y_1 \leq 375$	$175 \leq Y_2 \leq 225$	$400 \leq Y_3 \leq 500$	$350 \leq Y_4 \leq 450$
"mittel"	$275 \leq Y_1 < 325$	$125 \leq Y_2 < 175$	$300 \leq Y_3 < 400$	$250 \leq Y_4 < 350$

Die Glaubwürdigkeit für den Eintritt eines "guten" bzw. "mittleren" Konjunkturverlaufs wird für die Periode 1 wie folgt geschätzt:

"guter" Konjunkturverlauf	w = 0.65,
"mittlerer" Konjunkturverlauf	w = 0.35.

Die Glaubwürdigkeit für das Eintreten eines "guten" bzw. "mittleren" Konjunkturverlaufs in Perioden 2, 3 und 4 zeigt die folgende Tabelle:

---

1 Vgl. IBM-Application Program, a.a.O., S. 29, S. 400 ff. und S. 408. Eine Liste der Programme, sowie ein beispielhafter Programmoutput finden sich im Anhang II und III, S. 185 und 195.

Konjunkturverlauf in Periode t+1 / Konjunkturverlauf in Periode t	"gut"	"mittel"
"gut"	0,40	0,60
"mittel"	0,60	0,40

Für diese Datenkonstellation wurden beispielhaft folgende Strategien untersucht:

$$X_1=\{X_{10}=4,\quad X_{11}=0,\quad X_{12}=0,\quad X_{13}=0\},$$
$$X_2=\{X_{20}=3,\quad X_{21}=0,\quad X_{22}=0,\quad X_{23}=0\},$$
$$X_3=\{X_{30}=3,\quad X_{31}=0,\quad X_{32}=1,\quad X_{33}=0\},$$
$$X_4=\{X_{40}=3,\quad X_{41}=0,\quad X_{42}=2,\quad X_{43}=0\},$$
$$X_5=\{X_{50}=2,\quad X_{51}=0,\quad X_{52}=1,\quad X_{53}=0\}.$$

Für Strategie X_1 z.B. ergaben sich die in Tabelle 8 und den Abbildungen 25 und 26 dargestellten Ergebnisse. Tabelle 8 zeigt die statistische Auswertung für diese Strategie. Das minimale Endvermögen beträgt demnach 395.54, das maximale Endvermögen 2637.53. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Endvermögens ist durch $f_1(V_1)$ gegeben, die hieraus zu bildende Verteilungsfunktion durch $F_1(V_T)$. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung des Endvermögens kann durch die in Tabelle 8 weiter angegebenen Parameter Range (Spannweite der Verteilung), Erwartungswert und Standardabweichung beschrieben werden. Abbildung 25 zeigt in Form eines Histogramms die graphische Darstellung der Wahrscheinlichkeitsverteilung, die mit dem Unterprogramm HIST erstellt wurde.

Grundlage für die Beurteilung der Strategie ist die Verteilungsfunktion $F_1(V_T)$. Beträgt das Anspruchsniveau für das Endvermögen bei einer Risikogrenze von 20 % z.B. 1500, so zeigt die Verteilungsfunktion $F_1(V_T)$ (Tabelle 8), daß bei Durchführung der Stategie X_1 die Risikogrenze überschritten wird: ein Wert von 1500 für das Endvermögen fällt in die Klasse 10 und die Wahrscheinlichkeit, die Obergrenze dieses Intervalls zu unterschreiten, beträgt 0.4060.

MINIMUM =	395.54
MAXIMUM =	2637.53
RANGE =	2242.00
ERWARTUNGSWERT =	1605.07
STANDARDABWEICHUNG =	431.39

KL	V_T	$h_1(V_T)$	$f_1(V_T)$	$F_1(V_T)$
1	395.54	0.	0.0	0.0
2	520.09	7.	0.0070	0.0070
3	644.65	6.	0.0060	0.0130
4	769.20	6.	0.0060	0.0190
5	893.76	23.	0.0230	0.0420
6	1.018.31	57.	0.0570	0.0990
7	1.142.87	75.	0.0750	0.1740
8	1.267.42	48.	0.0480	0.2220
9	1.391.98	71.	0.0710	0.2930
10	1.516.53	113.	0.1130	0.4060
11	1.641.09	158.	0.1580	0.5640
12	1.765.64	103.	0.1030	0.6670
13	1.890.20	42.	0.0420	0.7090
14	2.014.76	64.	0.0640	0.7730
15	2.139.31	128.	0.1280	0.9010
16	2.263.87	53.	0.0530	0.9540
17	2.388.42	12.	0.0120	0.9660
18	2.512.98	14.	0.0140	0.9800
19	2.637.53	20.	0.0200	1.0000

Tabelle 8: Statistische Auswertung für Strategie X_1

Für einen Vergleich der Verteilungsfunktionen des Endvermögens bei alternativen Strategien kann, wie bei der Programmbeschreibung bereits erwähnt, mit Hilfe des Programms PLRG eine Approximation der diskreten Verteilungsfunktion durch eine stetige Verteilungsfunktion erfolgen. Das Programm PLRG bestimmt zur Approximation der diskreten Verteilungsfunktion eine Polynominalregression, die für diesen Zweck gut geeignet ist. Für die Strategie X_1 wurde vom Programm PLRG eine Polynominalregression berechnet, die in Abbildung 26 der diskreten Verteilungsfunktion gegenübergestellt ist. Der durch "1" dargestellte Verlauf zeigt die diskrete Verteilungsfunktion, der durch "2" dargestellte Verlauf zeigt die Approximation durch die stetige Polynomialregression. Wie man sieht, ist bei einem ausreichenden Stichprobenumfang eine gute Approximation möglich.

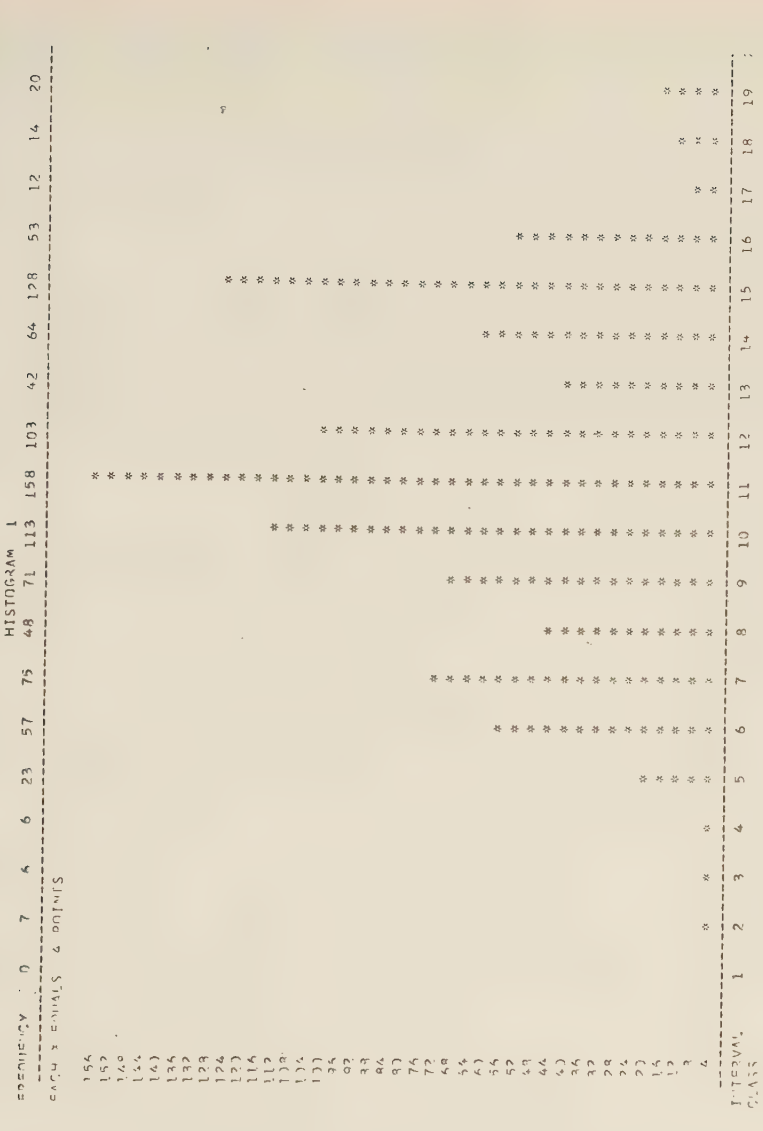


Abb. 25 Wahrscheinlichkeitsverteilung des Endvermögens

Abb. 26 Approximation einer diskreten Verteilungsfunktion durch eine stetige Verteilungsfunktion
1 : Verlauf der diskreten Verteilungsfunktion
2 : Verlauf der stetigen Verteilungsfunktion

Die für Strategie X_1 mit dem Programm PLRG [1] berechnete stetige Verteilungsfunktion ist durch die folgende Funktion gegeben:

$$F_1(V_T)=W(V_T\leq a) = \begin{cases} 0., \text{ für } VT \leq 395.53, \\ 0.363-0.139 \cdot V_T+0.131 \cdot 10^{-5} \cdot V_T^2-0.275\cdot 10^{-9} \cdot V_T^3, \\ 1., \text{ für } V_T \geq 2637.53. \end{cases}$$

Der Vergleich der den untersuchten Strategien zugeordneten Verteilungsfunktionen kann nun mit Hilfe der vom Programm PLRG berechneten stetigen Verteilungsfunktionen erfolgen. Für die Strategie X_2 bis X_5 ergaben sich die folgenden stetigen Verteilungsfunktionen, die in Abbildung 27 zusammenfassend gegenübergestellt sind

$$F_2(V_T)=W(V_T\leq a) = \begin{cases} 0., \text{ für } V_T \leq 1548,58 , \\ - 0.118 \cdot 10^{1} + 0.400 \cdot 10^{-3} \cdot V_T+0.211 \cdot 10^{-6} \cdot V_T^2, \\ 1., \text{ für } V_T \geq 2399,72. \end{cases}$$

$$F_3(V_T)=W(V_T\leq a) = \begin{cases} 0., \text{ für } V_T \leq 508,54 , \\ 0.170-0.485\cdot 10^{-3} \cdot V_T+ 0.144\cdot 10^{-6} \cdot V_T^2+0.428\cdot 10^{-9} \cdot V_T^3, \\ 1., \text{ für } V_T \geq 2322,22. \end{cases}$$

$$F_4(V_T)=W(V_T\leq a) = \begin{cases} 0., \text{ für } V_T \leq - 593,95, \\ 0.111+0.424\cdot 10^{-3} \cdot V_T+0.356\cdot 10^{-6} \cdot V_T^2-0,178\cdot 10^{-9} \cdot V_T^3, \\ 1., \text{ für } V_T \geq 1918,83. \end{cases}$$

$$F_5(V_T)=W(V_T\leq a) = \begin{cases} 0., \text{ für } V_T \leq 1148.68, \\ 0.522 - 0.210 \cdot 10^{-3} \cdot V_T+ 0.548 \cdot 10^{-6} \cdot V_T^2, \\ 1., \text{ für } V_T \geq 1801,61. \end{cases}$$

1 Die vollständige Druckausgabe des Programms PLRG findet sich im Anhang III, S. 195.

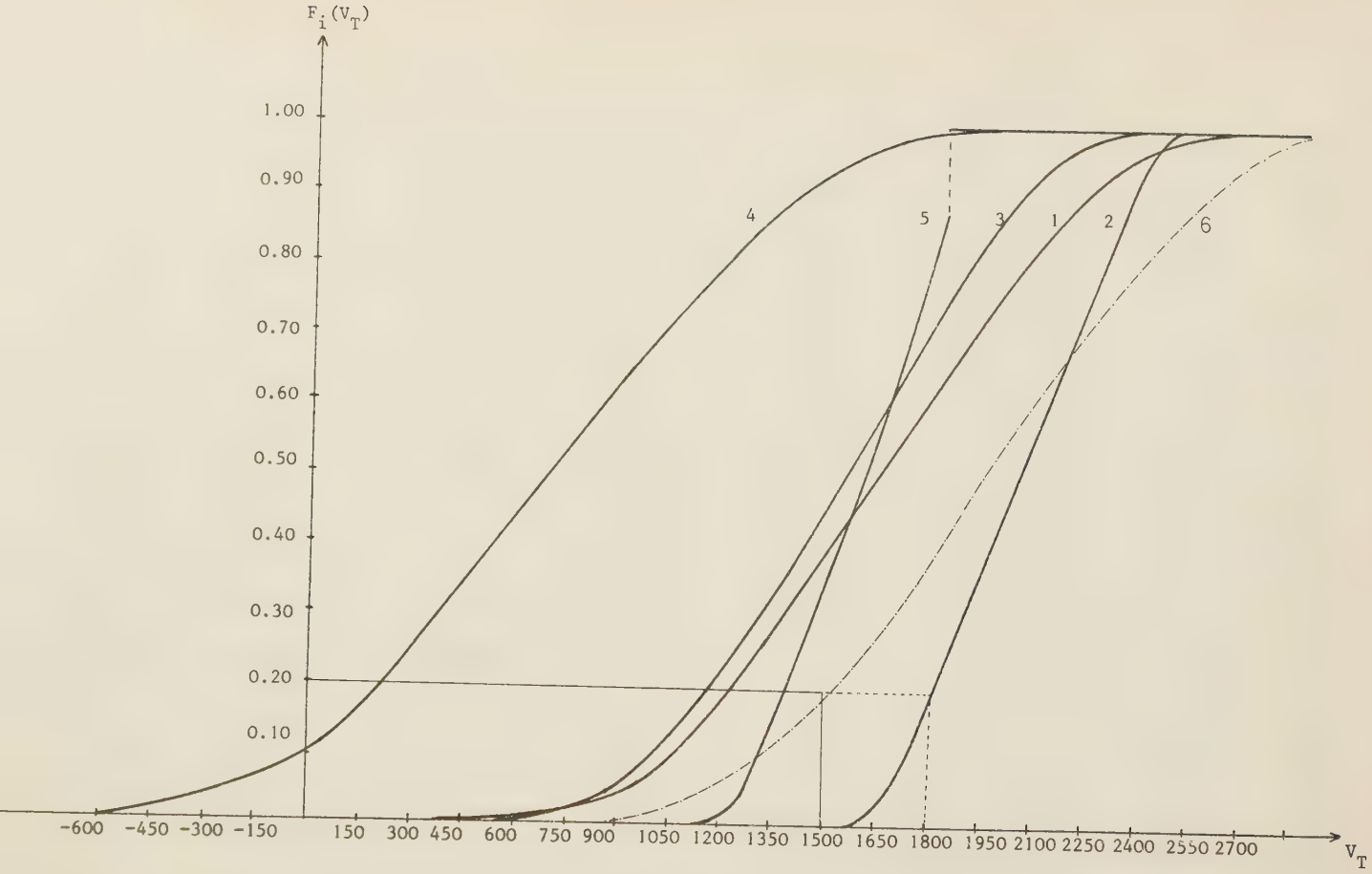


Abb. 27: Vergleich der den Strategien X_1 - X_5 zugeordneten Verteilungsfunktionen

Wie Abbildung 27 zeigt, kann ein Planungsträger mit Hilfe der abgebildeten Verteilungsfunktionen umfassend über die mit einer Strategie verbundenen Risiken und Chancen informiert werden.

Die Entscheidung für eine Strategie kann nun gemäß dem in Kapitel B 3.6.2. beschriebenen Verfahren vorgenommen werden. Aus Abbildung 27 geht zunächst hervor, daß Strategie X_4 von allen anderen Strategien stochastisch dominiert wird und deshalb von der Betrachtung ausgeschlossen werden kann. Für die restlichen Strategien ist bei Anwendung des Anspruchsanpassungsprinzips eine eindeutige und überprüfbare Entscheidung möglich. Liegt das Anspruchsniveau eines Planungsträgers z.B. bei 1500 GE und die Risikogrenze bei 0.20, so zeigt sich gemäß Abbildung 27, daß lediglich Strategie X_2 diesen Bedingungen genügt. Folglich ist Strategie X_2 zu wählen. Bei Beibehaltung der Risikogrenze von 0.20 kann das Anspruchsniveau auf ca. 1800 GE Endvermögen erhöht werden.

Auch wenn, wie in Abbildung 27 durch die Strategie X_6 hypothetisch unterstellt wird, eine weitere Strategie den angegebenen Bedingungen genügt, ist entlang der Risikogrenze stets eine eindeutige Rangfolge gegeben, d.h. X_2 wäre aus der Sicht der Anspruchsanpassungstheorie immer noch besser als X_6, da die Strategie X_2 bei gleichem Risiko die Realisation eines höheren Anspruchsniveaus erlaubt. Allerdings verzichtet der Planungsträger auf die durch Strategie X_6 gegebene Chance auf ein höheres Endvermögen. Die Entscheidung, ob unter Umständen deshalb von Strategie X_2 auf X_6 überzugehen ist, sollte dem Planungsträger überlassen bleiben. Sinnvoll wäre in solchen Fällen u.U. die Beschaffung zusätzlicher Informationen und die Wiederholung des Simulationsexperiments mit dem neuen Informationsstand[1].

Überprüft man nun dieses Planungsverfahren auf die in Teil B dieser Arbeit entwickelten Anforderungen an Planungsmodelle, so zeigt sich folgendes Ergebnis:

1. Die Verarbeitung von Intervallschätzungen der problemrelevanten unsicheren Einflußgrößen ist ohne weiteres möglich.
2. Ebenso ist es ohne weiteres möglich, eine Ergebnisverteilung der verwendeten Zielgröße bzw. Zielgrößen zu bestimmen. Die für das Beispiel ermittelte Verteilungsfunktion des Endvermögens zeigt die mit einer

1 Zur Entscheidung über die Beschaffung zusätzlicher Informationen vgl. Kapitel B 3.3.5.

Strategie verbundenen Risiken und Chancen und stellt somit eine vollständige Information des Planungsträgers sicher. Eine Verdichtung der Wahrscheinlichkeitsverteilung zu einem Erwartungswert ist bei diesem Planungsverfahren nicht erforderlich.

Mit dem hier dargestellten Planungsverfahren, das für alternativ zu untersuchende Strategien Ergebnisverteilungen der Zielgröße(n) erzeugt, können folglich sinnvolle Entscheidungsunterlagen ermittelt werden. Die durch das Modell berechneten Ergebnisverteilungen beruhen auf einer Auswertung aller Umweltverläufe, wobei sichergestellt ist, daß entsprechend der Erwartungsstruktur eines Planungsträgers die Kantenzüge eines Zustandsbaums abgearbeitet werden. Das Verfahren erfüllt alle im Kapitel B 3.7. entwickelten Anforderungen an Planungsmodelle zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung und ist damit in dieser Form für die Unterstützung von Planungsprozessen geeignet.

Im folgenden Kapitel 3.2.2.3. wird nun gezeigt, daß dieses Instrumentarium auch dann verwendet werden kann, wenn die zu untersuchenden Strategien die Berücksichtigung zukünftigen Entscheidungsspielraum verlangen.

3.2.2.3. Strategiesimulation bei einer Strategiemenge mit Entscheidungsspielraum

Wie in Kapitel C 1.2.2. gezeigt wurde, sind bei Existenz von Handlungsspielräumen die zukünftigen Entscheidungsmöglichkeiten in die Planung einzubeziehen, wenn eine zielentsprechende Anfangsentscheidung getroffen werden soll. Die Möglichkeit der Anwendung der Simulation auf Planungssituationen, in denen zur Ermittlung einer zielentsprechenden Anfangsentscheidung bedingte Entscheidungen in den Planungsprozeß einzubeziehen sind, ist nur in geringem Umfang bekannt[1] und wird teilweise bestritten[2]. Wie im folgenden gezeigt wird, ist die Anwendung der Simulation jedoch auch in diesem Fall möglich.

---

1 Im allgemeinen werden in der Literatur nur Anwendungsbeispiele mit starr vorgegebenen Strategien beschrieben. Vgl. z.B. Aurich, W., Die Simulation der strategischen Anpassung - Prüfung von Rationalisierungs- und Diversifikationsstrategien. In: Simulation als Instrument der Planung in Wirtschaft und Verwaltung. Hrsg. PROGNOS AG, Zürich 1973, S. 92 ff.

2 Vgl. z.B. Waldmann, J., a.a.O., S. 255 f.

Die Verwendung von Simulationsmodellen zur Lösung von Planungsproblemen bei Berücksichtigung bedingter Folgeentscheidungen wurde erstmals von Hespos und Strassmann beschrieben[1]. Sie zeigten durch Kombination von Risikoanalyse und Entscheidungsbaumverfahren, wie mehrstufige Planungsprobleme mit Hilfe eines ereignisorientierten Simulationsmodells zu lösen sind. Im Gegensatz hierzu wird in dieser Untersuchung aus den in Kapitel C 2.3. angeführten Gründen ein zeitorientiertes Simulationsmodell verwendet. Das im folgenden beschriebene Planungsverfahren führt wegen der verwendeten Modellstruktur zu einer anderen Ablauflogik des Planungsverfahrens, die jedoch rechentechnische Vorteile bietet. Hespos und Strassmann rechnen mit Hilfe des ereignisorientierten Simulationsmodells zur Erzeugung der den Endknoten zuzuordnenden Ergebnisverteilungen in einer Stichprobe den gesamten Entscheidungsbaum durch. Beträgt die Wahrscheinlichkeit, einen bestimmten Endknoten zu erreichen z.B. 0.01 und legt man die für die Ermittlung einer Ergebnisverteilung notwendige Anzahl von Werten mit 1000 fest, so wäre bei dieser Vorgehensweise ein Stichprobenumfang von 100.000 notwendig. Das im folgenden beschriebene Planungsverfahren rechnet im Gegensatz zu Hespos und Strassmann den Entscheidungsbaum sukzessive durch, wobei für jede der zu erzeugenden Ergebnisverteilungen derselbe Stichprobenumfang zugrundegelegt wird. Bei steigender Anzahl von Endknoten und damit sinkender Wahrscheinlichkeit für das Erreichen einzelner Endknoten, führt diese Vorgehensweise zu einer erheblichen Reduzierung des Stichprobenumfangs und damit zu kürzeren Rechenzeiten.

Im vorhergehenden Kapitel wurde für vom Umweltverlauf unabhängig formulierte Strategien gezeigt, wie mit einem Simulationsmodell durch Erzeugung von Umweltverläufen aus einem Zustandsbaum die entsprechende Ergebnisverteilung ermittelt werden kann. Bei Berücksichtigung zukünftiger Entscheidungsmöglichkeiten kann prinzipiell gleichartig verfahren werden. Allerdings sind jetzt die zu untersuchenden Strategien nicht mehr unabhängig von den im Zustandsbaum erfaßten Umweltzuständen zu formulieren, sondern bei der Strategienformulierung sind die im Zustandsbaum erfaßten alternativ möglichen Umweltzustände zu berücksichtigen. Es sind folglich bedingte Entscheidungen zu formulieren, wie beispielsweise: Wenn in einer Periode t der Konjunkturverlauf günstig war, wird eine Erweiterung der Produktionskapazität vorgenommen, war der Konjunkturverlauf ungünstig, wird die Produktionskapazität beibehalten.

---

1 Vgl. Hespos, R.F. und Strassmann, P.A., a.a.O., S. B-244 ff.

Eine solche Vorgehensweise dürfte bei langfristiger Unternehmungsplanung zweckmäßig sein: denn ob eine Kapitalaufstockung durch Emission junger Aktien erfolgt oder ob die Dividende gekürzt bzw. erhöht werden soll, wird sicherlich davon abhängig gemacht, welcher Umweltzustand im Zeitpunkt einer zukünftigen Entscheidung erreicht ist und nicht bereits im Planungszeitpunkt definitiv festgelegt. Die Formulierung bedingter Entscheidungen dürfte weiter auch der in der Praxis üblichen Vorgehensweise entsprechen, zukünftige Entscheidungen vom Eintritt bestimmter Ereignisse abhängig zu machen, d.h. als sogenannte "Wenn-dann"-Entscheidungen zu formulieren.

Diese Ausführungen verdeutlichen, daß die Formulierung bedingter Entscheidungen sicherlich als eine realistische Form des Planungsverhaltens aufgefaßt werden kann. Allerdings ist insbesondere bei mehrstufigen Problemen die Formulierung von Strategien bei Einschluß bedingter Entscheidungen keinesfalls mühelos. Bereits das folgende Beispiel wird zeigen, daß die Formulierung von Strategien bei Berücksichtigung bedingter Entscheidungen relativ aufwendig sein kann.

Zur Darstellung des Planungsverfahrens wird wiederum auf das bekannte Standardbeispiel zurückgegriffen. Für die Datensituation wird, wie bereits im vorhergehenden Kapitel, davon ausgegangen, daß lediglich über die Entwicklung der Absatzmengen Unsicherheit besteht. Die übrigen Daten gelten wie bisher. Für die Entwicklung der Absatzmengen wird von folgender Datensituation ausgegangen[1]:

Konjunkturverlauf	Absatzmenge Y_t			
	t=1	t=2	t=3	t=4
"gut"	$325 \leq Y_1 \leq 375$	$175 \leq Y_2 \leq 225$	$400 \leq Y_3 \leq 500$	$300 \leq Y_4 \leq 400$
"mittel"	$275 \leq Y_1 < 325$	$125 \leq Y_2 < 175$	$300 \leq Y_3 < 400$	$200 \leq Y_4 < 300$

Unter den Prämissen des Beispiels bietet sich nun an, die Formulierung bedingter Entscheidungen nur im Hinblick auf die Entwicklung der Absatzmengen vorzunehmen. (Die Einbeziehung weiterer Einflußgrößen ist prinzipiell möglich, ändert jedoch nichts an der Planungsmethodik.)

1 Die Übergangswahrscheinlichkeiten sollen unverändert gelten. Vgl. Kapitel C 3.2.2.2., S. 136 f.

Da entsprechend den Voraussetzungen des Beispiels im Planungszeitpunkt keine Aggregate vorhanden sind, ist folglich im Planungszeitpunkt über die Anzahl zu beschaffender Aggregate zu entscheiden. Dabei sind wegen der zu beachtenden zeitlichen Interdependenzen die Folgeentscheidungen ebenfalls zu berücksichtigen.

Bei einer Kapazität je Maschine von 100 ME je Planperiode sind zunächst die möglichen Anfangsentscheidungen festzulegen. Für die angegebene Datensituation könnte z.B. erwogen werden, zum Planungszeitpunkt 3 oder 4 Aggregate zu beschaffen. Damit sind zwei mögliche Anfangsentscheidungen festgelegt[1]. Im Anschluß daran sind die bedingten Folgeentscheidungen zu formulieren; d.h. unter der Annahme, daß ein bestimmter Konjunkturverlauf bereits eingetreten ist, sind bei Berücksichtigung der bereits getroffenen Entscheidungen bedingte Folgeentscheidungen über die Beschaffung zusätzlicher Aggregate zu formulieren.

Für die Anfangsentscheidung $X_0=3$ ist nun zunächst für den Entscheidungszeitpunkt t=1 (Entscheidung über die in Periode 2 verfügbare Kapazität) zu überlegen, ob bedingte Entscheidungen vorzusehen sind.

1. Entscheidungszeitpunkt t=1
   Für den Entscheidungszeitpunkt t=1 könnte z.B. wie folgt vorgegangen werden: Bei der zugrundegelegten Anfangsentscheidung $X_0=3$ kann von der Beschaffung weiterer Aggregate abgesehen werden, da die Absatzerwartungen für Periode 2 zeigen, daß in jedem Fall eine ausreichende Kapazität vorhanden ist.

2. Entscheidungszeitpunkt t=2
   Für die im Zeitpunkt t=2 zu formulierenden bedingten Entscheidungen könnte nun in Abhängigkeit von dem in Periode 2 fiktiv angenommenen Konjunkturverlauf wie folgt vorgegangen werden:

   a. bei guten Konjunkturverlauf in Periode 2
      - Ausbau der Kapazität auf 500 ME, d.h. $X_2=2$,
      - Ausbau der Kapazität auf 400 ME, d.h. $X_2=1$,
      - Beibehaltung der ursprünglichen Kapazität von 300 ME, d.h. $X_2=0$.

   b. bei mittlerem Konjunkturverlauf in Periode 2
      - Ausbau der Kapazität auf 400 ME, d.h. $X_2=1$,
      - Beibehaltung der ursprünglichen Kapazität von 300 ME, d.h. $X_2=0$.

---

1 Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur diese beiden Anfangsentscheidungen berücksichtigt.

Bei der Formulierung der Entscheidungsmöglichkeiten für den Zeitpunkt t=3 ist nun zu berücksichtigen, daß im Zeitpunkt t=2 u.U. eine Erhöhung der Produktionskapazität vorgenommen wurde. Für t=3 sind dann z.B. folgende Entscheidungen denkbar:

3. Entscheidungszeitpunkt t=3

   a. Ist im Zeitpunkt t=3 bereits eine Kapazität von 500 ME bzw. 400 ME vorhanden, wird keine Kapazitätserweiterung vorgenommen. Da der in Periode 3 eingetretene Zustand keinen Einfluß auf die im Zeitpunkt 3 möglichen Entscheidungen hat, sind folglich keine bedingten Entscheidungen zu formulieren.

   b. Bei einer Kapazität von 300 ME im Zeitpunkt t=3:

      α. bei gutem Konjunkturverlauf in Periode 3
         - Ausbau der Kapazität auf 400 ME, d.h. $X_3=1$,
         - Beibehaltung der ursprünglichen Kapazität, d.h. $X_3=0$;

      β. bei mittlerem Konjunkturverlauf in Periode 3
         - kein Ausbau der Kapazität.

Wird die Anfangsentscheidung $X_0=4$ betrachtet, so ist entsprechend vorzugehen. Bei dieser Anfangsentscheidung könnte folgendes Handlungsprogramm formuliert werden:

1. Entscheidungszeitpunkt t=1
   Kein Ausbau der Kapazität, d.h. $X_1=0$

2. Entscheidungszeitpunkt t=2

   a. bei gutem Konjunkturverlauf in Periode 2
      - Ausbau der Kapazität auf 500 ME, d.h. $X_2=1$,
      - Beibehaltung der ursprünglichen Kapazität, d.h. $X_2=0$.

   b. bei mittlerem Konjunkturverlauf in Periode 2
      - kein Ausbau der Kapazität.

3. Entscheidungszeitpunkt t=3
   Kein Ausbau der Kapazität.

Die soeben beschriebene Planungssituation, die durch die Anfangsentscheidungen $X_0=3$ und $X_0=4$ sowie die hierfür formulierten bedingten Folgeentscheidungen gekennzeichnet wird, ist in Abbildung 28 in Form eines Entscheidungsbaums zusammengefaßt, der insofern von der sonst üblichen Form

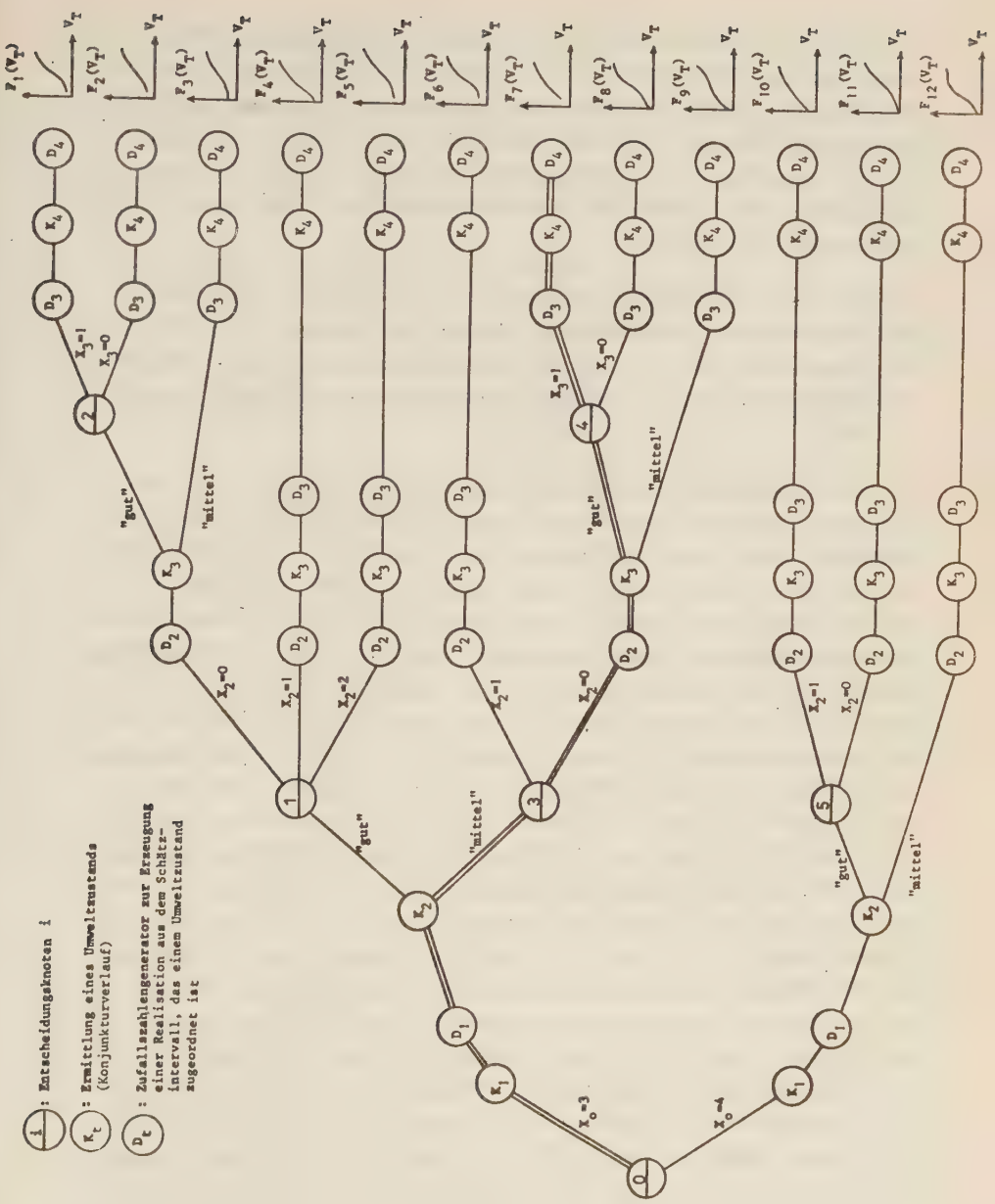


Abb. 28: Entscheidungsbaum für ein Beispiel zur flexiblen Planung mit Hilfe eines stochastischen Simulationsmodells

eines Entscheidungsbaums abweicht, als nicht mehr alle Kanten eines Zustandsbaums abgebildet sind. Ist z.B. für einen Zeitpunkt t keine bedingte Entscheidung vorgesehen, so können die in Periode t alternativ möglichen Umweltzustände zu einem Knoten zusammengefaßt werden (im Entscheidungsbaum z.B. K_1). Aufgeführt im Entscheidungsbaum sind folglich nur noch die Umweltzustände, für die bedingte Folgeentscheidungen vorgesehen sind (im Entscheidungsbaum z.B. nach K_2).

Insgesamt müssen mit dem Simulationsmodell für die oben beschriebene Planungssituation zwölf Ergebnisverteilungen bestimmt werden. Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Erzeugung der entsprechenden Ergebnisverteilung wird im folgenden am Beispiel der Erzeugung der Verteilungsfunktion $F_7(V_T)$ beschrieben[1].

Unter der Voraussetzung, daß die Daten des Zustandsbaums sowie alle für die Simulation notwendigen Parameter und Daten bereits eingelesen sind, ist zur Ermittlung der Verteilungsfunktion des Endvermögens $F_7(V_T)$ die Strategie $X_7=\{X_0=3, X_1=0, X_2=0, X_3=1\}$ in das Simulationsmodell einzugeben. Bei den Teilentscheidungen dieser Strategie handelt es sich nun entweder um bedingte oder unbedingte Teilentscheidungen. Eine unbedingte Teilentscheidung ist neben der Anfangsentscheidung $X_0=3$ die Teilentscheidung $X_1=0$; d.h. unabhängig von dem in Periode 1 realisierten Konjunkturverlauf wird auf eine Kapazitätserweiterung im Zeitpunkt 1 verzichtet. Bedingte Teilentscheidungen sind $X_2=0$ und $X_3=1$, wobei $X_2=0$ ($X_3=1$) nur dann durchgeführt wird, wenn in Periode 2 (Periode 3) ein "mittlerer" ("guter") Konjunkturverlauf realisiert wurde. Die Information, ob Teilentscheidungen bedingt bzw. unbedingt sind, wird über einen Bedingungsschlüssel eingegeben. Den Ablauf der Simulation bei flexibler Planung zeigt nun das folgende Flußdiagramm (Abb. 29). In jedem Zeitpunkt sind zunächst die möglichen Folgezustände zu ermitteln (1). Mit Hilfe des Bedingungschlüssels wird nun geprüft, ob es sich bei der geplanten Teilentscheidung um eine bedingte oder um eine unbedingte Teilentscheidung handelt (2). Für den Zeitpunkt 1 ist bei der Strategie X_7 eine unbedingte Teilentscheidung $X_1=0$ vorgesehen, d.h. daß jeder der möglichen Folgezustände eintreten kann. In diesem Fall wird in der bereits beschriebenen Weise (vgl. Kap. C 3.2.2.2.) durch einen Zufallszahlengenerator festgelegt, welcher der möglichen Umweltzustände eintritt (4 und 5).

---

1 Der mit der Erstellung der Verteilungsfunktion $F_7(V_T)$ verbundene Weg durch den Entscheidungsbaum ist durch einen Doppelstrich gekennzeichnet (siehe Abb. 28).

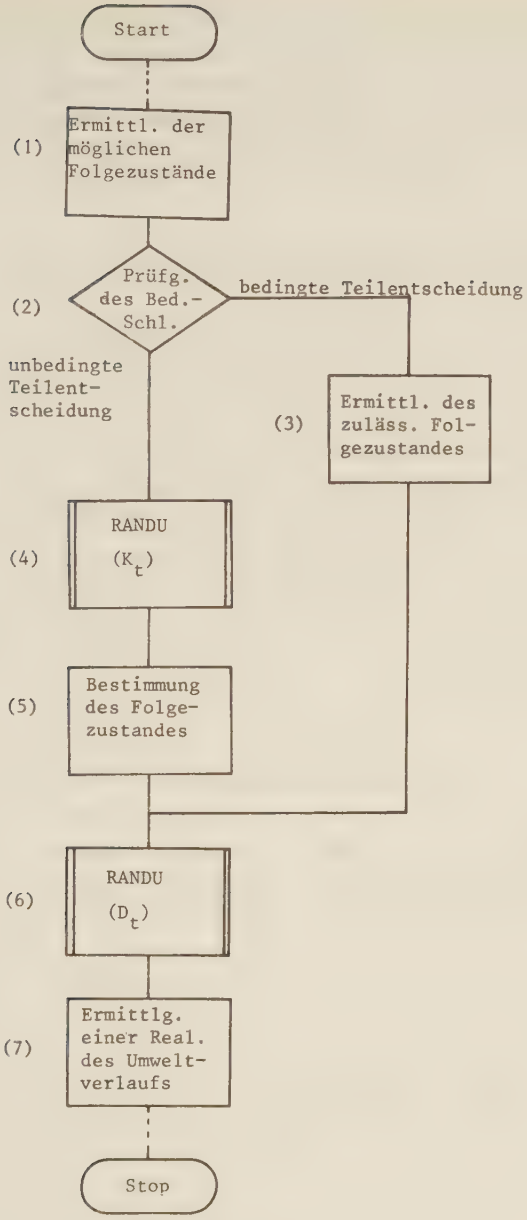


Abb. 29: Ablauflogik des Simulationsmodells bei flexibler Planung

Mit Hilfe einer weiteren Zufallszahl wird festgelegt, welcher Wert aus dem diesem Zustand zugeordneten Intervall realisiert wurde (6 und 7). Das deterministische Simulationsmodell berechnet dann die Ergebnisse für die Periode 1, die als Ausgangszustand für die folgende Periode zu speichern sind. Im Falle unbedingter Teilentscheidungen entspricht der Programmablauf folglich dem bei starrer Planung.

Unterschiede ergeben sich nun bei den folgenden Teilentscheidungen, die bekanntlich als bedingte Teilentscheidungen formuliert wurden. Für den Entscheidungszeitpunkt t=2 gilt entsprechend der Strategieformulierung, daß X_2=0 nur dann realisiert wird, wenn in Periode 2 ein mittlerer Konjunkturablauf eingetreten war. Mit Hilfe des Bedingungschlüssels wird nun zunächst festgestellt, welcher der möglichen Folgezustände dem mittleren Konjunkturablauf entspricht; d.h. für die Berechnung der Ergebnisse von Periode 2 wird über den Bedingungsschlüssel genau der Umweltzustand erreicht, der Voraussetzung für die bedingte Teilentscheidung ist (3). Mit Hilfe des Zufallszahlengenerators wird im Anschluß daran eine Realisation aus dem diesem Umweltzustand zugeordneten Schätzintervall ermittelt (6 und 7) und die so bestimmten Werte dem Simulationsmodell übergeben, das nun die Ergebnisse für die Periode 2 berechnet. Entsprechend wird bei der bedingten Teilentscheidung X_3 verfahren.

Sobald ein Endknoten des Entscheidungsbaums erreicht ist, wird in einer neuen Stichprobe der eben beschriebene Ablauf bis zur Erreichung des Stichprobenumfangs wiederholt. Nach Abschluß des Experiments kann in der bereits beschriebenen Weise (vgl. Kap. C 3.2.2.2.) die Verteilungsfunktion des Endvermögens berechnet werden. Die so bestimmte Verteilungsfunktion $F_7(V_T)$ wird der Strategie X_7 zugeordnet. Sie zeigt die mit dieser Strategie verbundenen Risiken und Chancen. Hierbei ist im Gegensatz zur starren Planung berücksichtigt, daß bestimmte Teilentscheidungen nur bei Eintritt vorher festgelegter Umweltzustände durchzuführen sind.

Mit Hilfe des beschriebenen Verfahrens sind nun sämtliche Wege des Entscheidungsbaums zu bewerten. Als Ergebnis der Strategiesimulation erhält man dann Ergebnisverteilungen für die zunächst formulierten Strategien, im Beispiel die Verteilungsfunktionen $F_1(V_T)$ bis $F_{12}(V_T)$, die in Abbildung 28 beispielhaft aufgeführt sind.

Zur Ermittlung der zielentsprechenden Startentscheidung im Planungszeitpunkt ist nun eine Roll-back-Analyse durchzuführen, die prinzipiell der

bereits in Kapitel B 3.3.5. sowie C 1.2.2. beschriebenen Vorgehensweise entspricht. Unterschiede ergeben sich daraus, daß den Endknoten des Entscheidungsbaums nun eine Verteilungsfunktion der Zielgröße an Stelle eines einzelnen Wertes zugeordnet ist. Zur Verdeutlichung der hier anzuwendenden Vorgehensweise soll nun der Ausschnitt des in Abbildung 28 dargestellten Entscheidungsbaums betrachtet werden, der mit der Startentscheidung $X_0=4$ verbunden ist.

Mit Hilfe des FORTRAN-IV Programms FSM2 wurden die Verteilungsfunktionen $F_{10}(V_T)$, $F_{11}(V_T)$ und $F_{12}(V_T)$ berechnet. Hierbei fanden die in Kapitel C 3.2.2.2. angegebenen Daten Verwendung.

Die Rechnung führte zu folgenden Verteilungsfunktionen des Endvermögens:

$$F_{10}(V_T) = \begin{cases} 0, \text{ für } V_T \leq -396.51, \\ -0.3587341 + 0.2305236 \cdot 10^{-1} \cdot V_T + 0.660645 \cdot 10^{-4} \cdot V_T^2 - 0.2613352 \cdot 10^{-7} \cdot V_T^3, \\ 1, \text{ für } V_T \geq 2122.25 \end{cases}$$

$$F_{11}(V_T) = \begin{cases} 0, \text{ für } V_T \leq 705{,}99, \\ 0.1515168 \cdot 10^3 - 0.3635522 \cdot V_T + 0.2558387 \cdot 10^{-3} \cdot V_T^2 - 0.4743557 \cdot 10^{-7} \cdot V_T^3, \\ 1, \text{ für } V_T \geq 2615.48 \end{cases}$$

$$F_{12}(V_T) = \begin{cases} 0, \text{ für } V_T \leq 430.37, \\ 0.7076065 \cdot 10^2 - 0.2322591 \cdot V_T + 0.2100168 \cdot 10^{-3} \cdot V_T^2 - 0.4482574 \cdot 10^{-7} \cdot V_T^3, \\ 1, \text{ für } V_T \geq 2339.86. \end{cases}$$

Entsprechend der Vorgehensweise einer roll-back-Analyse sind nun rückwärtsschreitend die zielentsprechenden Teilentscheidungen zu ermitteln. Für diesen Teil des Entscheidungsbaums bedeutet dies, daß zunächst die Verteilungsfunktionen $F_{10}(V_T)$ und $F_{11}(V_T)$ zu vergleichen sind. Hierzu ist die Angabe eines Anspruchsniveaus sowie einer Risikogrenze erforderlich. Angenommen das Anspruchsniveau liegt bei einem Endvermögen von 1500 und die Risikogrenze bei 25 %, so erhält man die folgenden Werte:

$$F_{10}(V_T \leq 1500) = 94{,}66\ \% \approx 95\ \%$$

$$F_{11}(V_T \leq 1500) = 21{,}73\ \% \approx 22\ \%.$$

Hieraus folgt, daß für den Fall eines "guten" Konjunkturverlaufs in Periode 2 auf den Ausbau der Kapazität zu verzichten ist. Die Teilentscheidung x_2=1 ist folglich nicht zielentsprechend. Daher ist der mit der verbundene Weg im Entscheidungsbaum zu streichen und die Verteilungsfunktion $F_{11}(V_T)$ dem Entscheidungsknoten 5 zuzuordnen.

Da vor dem Entscheidungsknoten 5 nur noch der Entscheidungsknoten 0 liegt, ist im nächsten Schritt die Verteilungsfunktion zu bestimmen, die der Startentscheidung x_0=4 zuzuordnen ist. Diese Verteilungsfunktion ergibt sich als Summe der mit den Wahrscheinlichkeiten $\bar{w}_1$ und $\bar{w}_2$ gewichteten Verteilungsfunktionen $F_{11}(V_T)$ und $F_{12}(V_T)$. Bezeichnet man diese Verteilungsfunktion mit $F_{13}(V_T)$, so gilt:

$$F_{13}(V_T) = \begin{cases} 0, \text{ für } V_T \leq 430.37 \\ \bar{w}_1 \cdot 0 + \bar{w}_2 \cdot F_{12}(V_T), \text{ für } 430.37 \leq V_T \leq 705.99, \\ \bar{w}_1 \cdot F_{11}(V_T) + \bar{w}_2 \cdot F_{12}(V_T), \text{ für } 705.99 \leq V_T \leq 2339.86, \\ \bar{w}_1 \cdot F_{11}(V_T) + \bar{w}_2 \cdot 1, \text{ für } 2339.86 \leq V_T \leq 2615.48, \\ 1, \text{ für } V_T \geq 2615.48. \end{cases}$$

$F_{13}(V_T)$ gibt damit die Verteilungsfunktion des Endvermögens an, mit der ein Entscheidungsträger rechnen muß, wenn die Startentscheidung x_0=4 gewählt wird.

Vor der numerischen Bestimmung von $F_{13}(V_T)$ sind zunächst die Wahrscheinlichkeiten $\bar{w}_1$ und $\bar{w}_2$ zu ermitteln. Da für t=0 und t=1 keine bedingten Entscheidungen vorgesehen sind, kann man den Zustand "guter" bzw. "mittlerer" Konjunkturverlauf offensichtlich auf den folgenden Wegen erreichen[1] (vgl. Abb. 30).

Die Wahrscheinlichkeit, den Zeitpunkt t=2 über einen "guten" Konjunkturverlauf in Periode 2 zu erreichen, ergibt sich dann als:

---

1 Es gelten die in Kapitel C 3.2.2.2. angegebenen Übergangswahrscheinlichkeiten.

$$\bar{w}_1 = 0.65 \cdot 0.40 + 0.35 \cdot 0.60$$
$$\bar{w}_1 = 0.47.$$

Entsprechend gilt für w_2:

$$\bar{w}_2 = 0.65 \cdot 0.60 + 0.35 \cdot 0.40$$
$$\bar{w}_2 = 0.53.$$

Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeiten w_1 und w_2 ist nun die numerische Bestimmung von $F_{13}(V_T)$ möglich. Es ergibt sich folgende Verteilungsfunktion:

$$F_{13}(V_T) = \begin{cases} 0, \text{ für } V_T \leq 430.37, \\ 0.3750314 \cdot 10^2 - 0.1230973 \cdot V_T + 0,1113809 \cdot 10^{-3} \cdot V_T^2 - 0.2375764 \cdot 10^{-7} \cdot V_T^2, \\ \text{für } 430.37 \leq V_T \leq 705.99, \\ 0.1087159 \cdot 10^3 - 0.2939668 \cdot V_T + 0.231625 \cdot 10^{-3} \cdot V_T^2 - 0.4605235 \cdot 10^{-7} \cdot V_T^3, \\ \text{für } 705.99 \leq V_T \leq 2339.86, \\ 0.124213 \cdot 10^3 - 0.1708695 \cdot V_T + 0.1202441 \cdot 10^{-3} \cdot V_T^2 - 0.2229471 \cdot 10^{-7} \cdot V_T^3, \\ \text{für } 2339.86 \leq V_T \leq 2615.48, \\ 1, \text{ für } V_T \geq 2615.48. \end{cases}$$

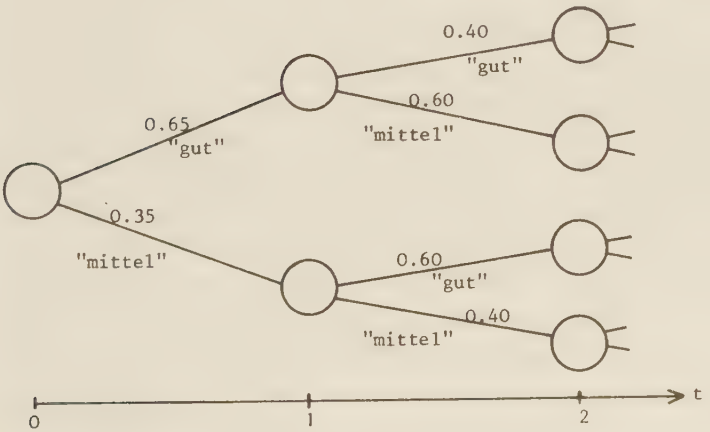


Abb. 30: Ausschnitt aus dem für das Beispiel geltenden Zustandsbaum

Zur Ermittlung der Verteilungsfunktion, mit der ein Entscheidungsträger bei der Anfangsentscheidung $x_0=3$ zu rechnen hat, ist für diesen Teil des Entscheidungsbaums entsprechend vorzugehen. Durch Vergleich der dem Anfangsknoten des Entscheidungsbaums zugeordneten Verteilungsfunktionen des Endvermögens ist dann die zielentsprechende Startentscheidung zu ermitteln.

Damit ist gezeigt, daß die Anwendung der Simulationstechnik auch auf Planungsprozesse anwendbar ist, bei denen eine Anpassung der entwickelten Strategien an den Umweltverlauf möglich ist (Fall der flexiblen Planung). Das hier beschriebene Verfahren liefert ebenso wie die Verfahren der mathematischen Optimierung ein System bedingter Folgepläne. Allerdings ist auch hier in erster Linie die Ermittlung einer zielentsprechenden Anfangsentscheidung wesentlich. Dieses Ziel kann nun auch mit Hilfe eines Simulationsmodells erreicht werden, und zwar:

- ohne Verdichtung der Zielbeiträge zu Erwartungswerten, sondern durch Angabe von Ergebnisverteilungen,
- mit der Möglichkeit der Berücksichtigung von Intervallschätzungen, d.h. bei Ausnutzung aller Informationen
- und durch eine der Erwartungsstruktur des Planungsträgers angepaßte Steuerung der Wege durch den Entscheidungsbaum.

Die Eignung der Simulation zur Unterstützung des Planungsprozesses bei langfristiger Unternehmungsplanung ist deshalb wohl kaum zu bezweifeln.

Wird, wie für das einfache Beispiel unterstellt wurde, für die Erstellung von Zustandsgeschichten die Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung gewählt, so wird in jedem Modelldurchlauf eine Plan-Bilanz, Plan-Gewinn- und Verlustrechnung sowie ein Finanzplan erstellt, d.h. bei einem Stichprobenumfang in Höhe von S damit S Folgen von integrierten Finanz- und Erfolgsplänen. Da zur Ermittlung einer Strategie nur die verfolgten Zielgrößen heranzuziehen sind, ist nun zu fragen, wie diese zusätzlich erzeugten Informationen genutzt werden können.

3.2.3. *Möglichkeiten der Gewinnung periodenbezogener Informationen bei Simulation mit stochastischen Eingabefolgen*

Bei einem mehrperiodigen Planungszeitraum ist bei einem deterministischen Modell die Zustandsgeschichte des abgebildeten Systems durch eine Folge interpretationsfähiger Plan-Bilanzen, Plan-Gewinn- und Verlustrechnungen und Finanzpläne gegeben. Auf diese Weise kann ein Planungsträger über die Zustandsgeschichte einzelner Variabler informiert werden und damit über den Systemzustand in den einzelnen Planperioden.

Da die Planungssituation bei langfristiger Unternehmungsplanung zur Ermittlung einer zielentsprechenden Anfangsstrategie die Berücksichtigung der Ungewißheit über die Datenentwicklung erfordert, ist das Instrumentarium einer deterministischen integrierten Finanz- und Erfolgsplanung zwar eine geeignete Ausgangsbasis für ein stochastisches Simulationsmodell, jedoch für Entscheidungszwecke nicht verwendbar. Wird bei stochastischen Eingabefolgen die Zustandsgeschichte des Systems mit durch Zufallszahlen ermittelten Datenkonstellationen in Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung erstellt und gespeichert, so liegt nach Abschluß des Simulationsexperiments eine Stichprobe dieser Zustandsgeschichten vor. Diese Stichprobe weist formal die Struktur der in Kapitel 3.5.2. dargestellten Struktur einer Ergebnismenge Y auf. Da die Elemente dieser Ergebnismenge über die Zeit und auch untereinander stochastisch abhängig sind, kann jede in Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung entwickelte Zustandsgeschichte als Realisation einer $T \cdot (L+K)$-dimensionalen Zufallsvariablen aufgefaßt werden, wobei L die Anzahl der in einem Ergebnisvektor y_{ijt} enthaltenen Zielgrößen und K die Anzahl der übrigen Elemente des Ergebnisvektors angibt[1]. Die Beurteilung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser Dimension ist allgemein nicht möglich. Zur Ermittlung einer zielentsprechenden Strategie wurde deshalb die Ergebnismenge umstrukturiert[2]. Die Umstrukturierung der Ergebnismenge ist in der beschriebenen Form jedoch nur für Zielgrößen sinnvoll, d.h. sie muß auf die Elemente einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung beschränkt bleiben, die als Zielgrößen Verwendung finden. Bei anderen Variablen einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung ist eine Verwendung der Verdichtungsverfahren nicht sinnvoll, da z.B. die Vertei-

1 Vgl. Kapitel B 3.5.2.

2 Vgl. Kapitel B 3.5.3.

lungsfunktion von über den Planungszeitraum summierten Zahlungsmittelbeständen kaum zu interpretieren ist. Im folgenden wird nun dargestellt, welche Informationen aus den in Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung erstellten Zustandsgeschichten zusätzlich zu gewinnen sind und wie ein Planungsträger auch über die Systemzustände in den einzelnen Planperioden zusätzlich informiert werden kann.

Die Gewinnung zusätzlicher Informationen über den Systemzustand in einzelnen Perioden wird im folgenden am Beispiel des Zahlungsmittelbestandes am Ende einer Periode dargestellt. Bezeichnet man sämtliche Einnahmen einer Periode mit SE_t, sämtliche Ausgaben einer Periode mit SA_t und den Zahlungsmittelbestand mit BZM_t, so gilt für den Zahlungsmittelbestand am Ende der Periode t:

$$BZM_t = BZM_{t-1} + SE_t - SA_t \quad t=1,2,\ldots,T.$$

Die so bestimmte Größe BZM_t ist als Indikator für die Liquidität innerhalb einer Planperiode zu interpretieren. Wegen der Prämissen des Standardbeispiels konnte dort auf die Größe BZM_t verzichtet werden, da stets alle Möglichkeiten zur Anlage finanzieller Überschüsse ausgenutzt werden konnten bzw. der Bedarf an finanziellen Mitteln jederzeit zu decken war. Bei Aufhebung dieser Prämissen und einer differenzierteren Betrachtung der Finanzierungsvariablen - entweder durch modellgesteuerte Finanzierung oder aber durch gleichzeitig mit einer Investitionsstrategie zu formulierende Finanzierungsstrategien - ist nun nicht auszuschließen, daß in einzelnen Planperioden BZM_t rechnerisch einen Wert unter Null annimmt. D.h. in einem Simulationsmodell kann, da das Aktivitätsniveau der Entscheidungsvariablen vom Planungsträger bei der Strategienformulierung vorzugeben ist und nicht durch einen Algorithmus bestimmt wird, nicht ausgeschlossen werden, daß in einzelnen Planperioden die Liquidität einer Unternehmung nicht gewährleistet ist. In der für eine Strategie erstellten Stichprobe von Zustandsgeschichten sind deshalb u.U. einzelne Stichprobenelemente mit negativen Werten für BZM_t in den einzelnen Planperioden enthalten. Zu fragen ist deswegen, wie ein Planungsträger über das mit einer Strategie verbundene Illiquiditätsrisiko ausreichend informiert werden kann.

Schmidthals und Daudt, die durch Kombination von Risiko-Analyse und Budgetsimulation durch Monte-Carlo-Methoden eine Stichprobe von Plan-Bilanzen und Plan-Gewinn- und Verlustrechnungen erzeugen und eine Verteilungs-

funktion des Gewinns bestimmen - allerdings periodenbezogen unter Vernachlässigung der stochastischen Abhängigkeit - schlagen zur Lösung des genannten Problems folgendes Verfahren vor[1]: Zunächst sind in der Stichprobe die Plan-Bilanzen und die Plan-Gewinn- und Verlustrechnungen zu suchen, die in der am häufigsten besetzten Klasse der Wahrscheinlichkeitsverteilung des Gewinns liegen. Ist diese Teilmenge bestimmt, so wird von allen in diesen Planbilanzen und Plan-Gewinn- und Verlustrechnungen jeweils enthaltenen Positionen das arithmetische Mittel berechnet. Mit diesen Werten wird das Modell dann erneut durchlaufen und eine Plan-Bilanz- und Plan-Gewinn- und Verlustrechnung erstellt. Die so ermittelten Positionen und Plan-Bilanz- und Plan-Gewinn- und Verlustrechnung bilden die Grundlage für die Berechnung einer Reihe von Kennziffern. Diese Vorgehensweise wird empfohlen, um "unsinnige Werte im (angeschlossenen) Kennzahlenmodell"[2] zu vermeiden. Gerade dies wird aber nicht verhindert, denn das von Schmidthals und Daudt vorgeschlagene Verfahren unterdrückt wesentliche Informationen, die zur Erstellung einer Ergebnisverteilung vorher erzeugt wurden. Die Berechnung von Kennzahlen auf der Basis eines Stichprobenanteils erscheint unsinnig, da diese Kennziffern keinerlei Aussagekraft mehr besitzen. Bezogen auf das Beispiel des Zahlungsmittelbestandes, werden gerade die Stichprobenelemente unterdrückt, mit deren Hilfe das mit einer Strategie verbundene Illiquiditätsrisiko bestimmt werden kann. Der Ausweis eines durchschnittlichen Zahlungsmittelbestandes am Ende einer Teilperiode besitzt keinerlei Aussagekraft, da bei der Mittelwertbildung positive und negative Bestände saldiert werden.

Im Gegensatz dazu wird hier ein Verfahren vorgeschlagen, das keine Informationen unterdrückt und deshalb eine ausreichende Information des Planungsträgers sicherstellt. Aus allen in einer Stichprobe enthaltenen Zahlungsmittelbeständen ist für jede Planperiode eine Häufigkeitsverteilung zu bilden (empirische Wahrscheinlichkeitsverteilung)[3] und aus dieser eine periodenbezogene Verteilungsfunktion zu bestimmen, die z.B. den in Abbildung 31 dargestellten Verlauf haben kann.

---

1 Vgl. Schmidthals, J. und Daudt, a.a.O., S. 527. Schmidthals und Daudt beschreiben das Modell MABIS (Maschinelle-Bilanz-Simulation) das von der Aktiengesellschaft für Industrieplanung (AGIPLAN) entwickelt wurde und an das ein Kennziffernmodell von IBM (MABILA-maschinelle Bilanz-Analyse) angeschlossen ist.

2 Ebenda.

3 Periodenbezogene Wahrscheinlichkeitsverteilungen können als Randverteilungen aufgefaßt werden. Bei dieser Vorgehensweise wird zwar der stochastische Zusammenhang über die Zeit vernachlässigt, allerdings ist dies im Zusammenhang mit einer periodenbezogenen Betrachtungsweise zulässig.

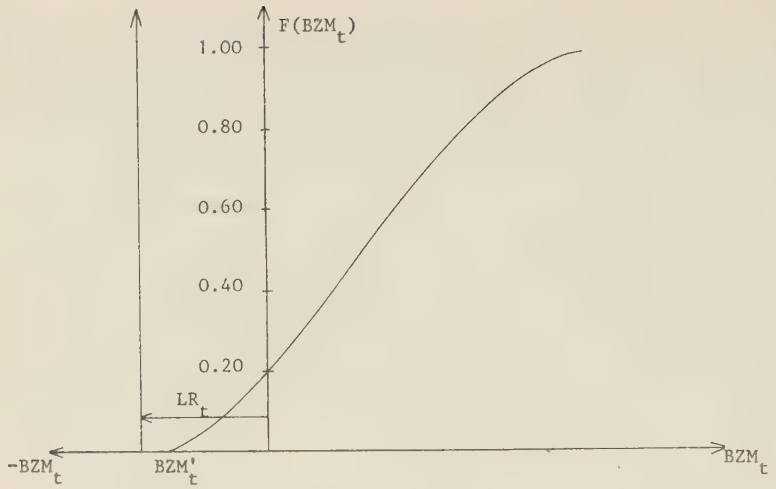


Abb. 31: Bestimmung des mit einer Strategie verbundenen Illiquiditätsrisikos

Für die in Abbildung 31 dargestellte Situation ergibt sich für das mit einer Strategie verbundene Illiquiditätsrisiko: $W(BZM_t \leq 0)=0.20$. Gleichzeitig wird deutlich, welcher durch die bereits geplanten Finanzierungsmaßnahmen für die Periode t noch nicht gedeckte Finanzmittelbedarf im ungünstigsten Fall entstehen kann (BZM'_t). Ist z.B. eine Liquiditätsreserve von LR_t in der Periode vorhanden (z.B. nicht ausgenutzte, jedoch zugesagte Kredite), so kann das Illiquiditätsrisiko aufgefangen werden (Verschiebung auf der Ordinate nach links um den Betrag LR_t). Ist für eine bestimmte Strategie eine Liquiditätslücke nicht zu schließen oder aber sind bei modellgesteuerter Finanzierung die vorgeschlagenen Finanzierungsmaßnahmen nicht durchführbar, so ist diese Strategie auszuschließen, da sie existenzgefährdend ist. In diesem Fall ist nach Strategien zu suchen, die der Liquiditätsbedingung genügen.

Im Gegensatz zum Ausweis von Mittelwerten wird bei dieser Vorgehensweise das mit einer Strategie verbundene Illiquiditätsrisiko ausgewiesen und ein Planungsträger kann durch entsprechende Maßnahmen einer drohenden Zahlungsunfähigkeit entgegenwirken.

Die hier vorgeschlagene Vorgehensweise kann in Abhängigkeit vom Informationsbedarf eines Planungsträgers auch für andere Größen durchgeführt werden. Bei der Ermittlung von Kennziffern ist so vorzugehen, daß zunächst aus allen in der Stichprobe enthaltenen Werten die entsprechende Kennziffer ermittelt wird. Aus der so gebildeten Stichprobe von Kennziffern kann dann in der beschriebenen Weise jeweils eine Verteilungsfunktion gebildet und entsprechend interpretiert werden.

Nicht möglich ist bei einer Simulation mit stochastischen Eingabefolgen die Erstellung von Plan-Bilanzen, Plan-Gewinn- und Verlustrechnungen und Finanzplänen in der bei dem deterministischen Simulationsmodell gezeigten Form[1], da für jede Position eine dem Stichprobenumfang entsprechende Anzahl von Werten vorhanden ist. Die Ermittlung von Mittelwerten für alle in den Teilplänen enthaltenen Positionen ist zwar denkbar, jedoch werden dann Werte ausgewiesen, die nur zufällig gemeinsam auftreten können. Der Informationsgehalt einer auf Mittelwerten basierenden integrierten Finanz- und Erfolgsplanung ist deshalb als gering einzustufen. Durch das dargestellte Verfahren können sinnvollere Informationen über den Systemzustand in einzelnen Teilperioden gewonnen werden, die den wenig aussagefähigen Mittelwerten vorzuziehen sind.

Wenn unbedingt für eine bestimmte Stategie Plan-Bilanzen, Plan-Gewinn- und Verlustrechnungen und Finanzpläne in tabellarischer Form ermittelt werden sollen, so können diese z.B. für den ungünstigsten, den günstigsten und vielleicht einen mittleren Umweltverlauf mit einem deterministischen Modell berechnet werden. Für jede in den Teilplänen enthaltene Position ergeben sich dann drei interpretationsfähige Werte, die jeweils auf einen Umweltverlauf bezogen sind. Diese Vorgehensweise dürfte dem Ausweis von Mittelwerten vorzuziehen sein, da diese die Unsicherheit der Datenentwicklung verschleiern.

3.3. *Vergleich von Modellen der mathematischen Programmierung mit Simulationsmodellen*

Vergleicht man die Modelle der mathematischen Programmierung mit den dargestellten Simulationsmodellen, so zeigt sich, daß die Simulationsmodelle

---

1 Dies dürfte eine mögliche Erklärung dafür sein, daß die meisten in der Praxis eingesetzten Modelle als deterministische Modelle konzipiert sind. Vgl. hierzu Grinyer, P.H. und Batt, C.D., a.a.O., S. 149 ff. Allerdings sind deterministische Modelle für Entscheidungen ungeeignet.

allen Anforderungen entsprechen können, die sich aus der zunächst allgemein entwickelten Struktur eines langfristigen Planungsproblems ergaben.

1. Simulationsmodelle sind geeignet, Intervallschätzungen über unsichere Einflußgrößen zu verarbeiten. Die Angabe von Intervallschätzungen dürfte in den meisten Fällen als realistisch anzusehen sein, denn die Ungewißheit über die problemrelevanten Einflußgrößen besteht darin, daß nur ein Wertebereich angegeben werden kann, in den die unsichere Größe fallen wird. Bei Verarbeitung dieser Intervallschätzungen kann die Ungewißheit über die Datenentwicklung bis in die Entscheidungsphase des Planungsprozesses fortgetragen werden. Wenn Modelle der mathematischen Programmierung aus Gründen der Rechenbarkeit durch Verdichtung vorhandener Informationen auf Punktschätzungen Manipulationen an der Informationsmenge vornehmen - und dies dürfte i.a. bei langfristigen Planungsproblemen unumgänglich sein - dann verarbeiten sie nur einen Bruchteil der vorhandenen Informationen und widersprechen so dem Postulat der vollständigen Informationsverarbeitung

2. Die mit einem Simulationsmodell ermittelten Konsequenzen geplanter Strategien können zu ein- bzw. mehrdimensionalen Verteilungsfunktionen verarbeitet werden. Diese Verteilungsfunktionen zeigen - bezogen auf einen Referenzpunkt - die mit einer Strategie verbundenen Risiken und Chancen. Eine Verdichtung der Ergebnisse zu Erwartungswerten ist sowohl bei Strategiemengen mit als auch bei Strategiemengen ohne Entscheidungsspielraum nicht notwendig. Modelle der mathematischen Programmierung verdichten jedoch die Konsequenzen geplanter Strategien zu Erwartungswerten, wobei zu berücksichtigen ist, daß diese Erwartungswerte i.a. bereits auf einer unvollständigen Informationsauswertung beruhen.

3. Simulationsmodelle können problemadäquat formuliert werden. Die Ganzzahligkeit von Entscheidungsvariablen sowie die Nichtlinearität von Zusammenhängen zwischen Variablen ist ohne weiteres zu berücksichtigen. Probleme können folglich so formuliert werden, wie sie sich stellen, und müssen nicht so formuliert werden, wie es ein Algorithmus aus Gründen der Rechenbarkeit u.U. erzwingt.

4. Erfordert ein Planungsproblem die Einbeziehung zukünftiger Entscheidungsmöglichkeiten, so kann dies ebenfalls durch ein Simulationsmodell erreicht werden. Die Ermittlung einer zielentsprechenden Anfangsentschei-

dung - und nur darauf kommt es an - ist durch Vergleich der Ergebnisverteilungen bei Berücksichtigung des Entscheidungsspielsraums möglich. Voraussetzung hierbei ist die Formulierung bedingter Entscheidungen. Dies kann, wie bereits das einfache Standardbeispiel vermuten läßt, durchaus sehr aufwendig werden. Die Anwendung dieses Planungsverfahrens sollte deshalb auf die strategische Planung beschränkt bleiben, d.h. auf Planungssituationen, die durch eine überschaubare Strategiemenge gekennzeichnet sind. Die Berücksichtigung künftiger Handlungsspielräume ist durch die Modelle der mathematischen Programmierung zwar ebenfalls möglich, allerdings unter Beschränkungen, denen Simulationsmodelle nicht unterliegen.

Demnach ist zusammenfassend festzustellen, daß die Simulationsmethode ein Planungsverfahren darstellt, das der Problemstruktur der langfristigen Unternehmungsplanung gerecht wird. Die Bestimmung zielentsprechender Strategien ist bei Kenntnis der Ergebnisverteilung und bei Berücksichtigung der Risikoneigung möglich. Wird die langfristige Unternehmungsplanung darüber hinaus in Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung aufgebaut, so können weiter sinnvolle Informationen über die Systemzustände in den einzelnen Perioden gewonnen werden.

Diesen Vorteilen der Simulation steht ein Nachteil gegenüber: Simulationsmodelle können keine Optima im Sinne eines beweisbaren mathematischen Optimums liefern. Zu fragen ist allerdings, ob dieser Nachteil schwerwiegend ist, wenn, wie gezeigt wurde, die Optimallösungen der mathematischen Programmierung i.a. auf einer unvollständigen Informationsauswertung beruhen. Zu fragen bleibt weiter, ob im Rahmen langfristiger Unternehmungsplanung überhaupt Optimallösungen anzustreben sind. Sinnvolles Ziel langfristiger Unternehmungsplanung kann doch nur sein, mögliche Entwicklungsstrategien einer Unternehmung miteinander zu vergleichen. Gerade für diesen Zweck sind Simulationsmodelle gut geeignet, da sie eine vollständige Informationsauswertung ermöglichen und die im Planungszeitpunkt erkennbaren Risiken und Chancen geplanter Strategien aufzeigen.

Eine Art "Versicherung" gegen Fehlentscheidungen sind Simulationsmodelle selbstverständlich nicht, da die Qualität des Informationsoutputs wie bei jedem anderen Planungsverfahren auch von der Qualität des Informationsinputs abhängt.

Wegen der i.a. vertretbaren Rechenzeit stellen Simulationsmodelle jedoch einen beachtlichen "Intelligenzverstärker" dar, da sie ein schnelles Durchspielen alternativer Datensituationen und Strategien ermöglichen.

D. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung einer allgemeinen Problemstruktur eines langfristigen Planungsproblems. Auf der Grundlage eines allgemeinen Problemlösungsprozesses wurden die zur Lösung eines Planungsproblems notwendigen Aktivitäten dargestellt und gezeigt, durch welche Maßnahmen die Komplexität eines Planungsproblems auf ein vom Planungsträger zu bewältigendes Niveau reduziert werden kann.

Aus der allgemeinen Struktur des Planungsproblems wurden Anforderungen an Planungsmodelle entwickelt. Diese Anforderungen bildeten die Grundlage für die Überprüfung vorhandener Modellstrukturen zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung. Es wurde gezeigt, daß Modelle der mathematischen Programmierung zur Unterstützung der langfristigen Planung wenig geeignet sind, da sie vorhandene Informationen i.a. unvollständig auswerten und die zur Beurteilung alternativer Strategien notwendigen Ergebnisverteilungen nicht ermitteln können.

Weiter wurde geprüft, in welchem Umfang Simulationsmodelle zur Unterstützung langfristiger Unternehmungsplanung herangezogen werden können. Es wurde gezeigt, daß Budget-Simulationsmodelle wegen ihrer Bottom-Up-Konstruktion zu nicht lösbaren Problemen der Informationsbeschaffung führen und deshalb keine geeignete Grundlage für die Entwicklung von Simulationsmodellen bei stochastischen Eingabefolgen darstellen. Modelle der Risikoanalyse unterstellen Unabhängigkeit der Datenentwicklung und sind deshalb nur für einen begrenzten Problemkreis anwendbar, auf den die unterstellten Voraussetzungen zutreffen.

Weiter wurde die Grundstruktur eines Simulationsmodells zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung entwickelt. Es wurde gezeigt, daß Simulationsmodelle sowohl bei Strategiemengen ohne zukünftigen Entscheidungsspielraum als auch bei Strategiemengen mit zukünftigem Entscheidungsspielraum eine geeignete Grundlage zur Unterstützung der langfristigen Unternehmungsplanung sein können. Die ent-

wickelten Simulationsmodelle erlauben eine vollständige Informationsauswertung und können die zur Beurteilung einer Strategie wesentliche Ergebnisverteilung ermitteln. Sie erfüllen damit alle aus der allgemeinen Problemstruktur abgeleiteten Anforderungen.

Weiter wurde gezeigt, welche Informationen über die Systemzustände in den einzelnen Planperioden zusätzlich ermittelt werden können, wenn jeweils vollständige Zustandsgeschichten in Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung gespeichert werden. Die Anwendung der Simulation stellt jedoch insbesondere bei der Formulierung bedingter Entscheidungen hohe Anforderungen an den Planungsträger und ihre Anwendung sollte deswegen auf Fälle beschränkt bleiben, in denen eine überschaubare Strategiemenge gegeben ist. Dies dürfte bei langfristiger Unternehmungsplanung in vielen Fällen gegeben sein.

Symbolverzeichnis

Allgemeines Planungsproblem

AS	Anspruchsniveau
ENU*	Maximaler Erwartungswert des Nutzens
EW	Erwartungswert
e	Komponente im Ergebnisvektor
NU	Nutzenfunktion
p	Wahrscheinlichkeit für die Realisation von Ausprägungen einer Zufallsvariablen bei Vorgabe einer Strategie
U	Menge der Umweltverläufe
U_j	Umweltverlauf j
u_{jt}	Umweltzustand im Zeitpunkt t im Umweltverlauf j
VZZ	Zufallsvariable für verdichtete Zielgrößen
vz	Zielgröße l (durch Verdichtung gewonnen)
W	Menge der Wahrscheinlichkeiten
W_j	Menge der einem Umweltverlauf zugeordneten Wahrscheinlichkeiten
w_{jt}	Wahrscheinlichkeit des Übergangs von einem Zustand u_{jt-1} zum Zustand u_{jt}
X	Strategiemenge
X_i	Strategie
x_{it}	Entscheidung im Zeitpunkt t bei Strategie i
Y	Ergebnismenge
Y_{ij}	Ergebnismenge für Strategie i bei einem Umweltverlauf j
y_{ijt}	Ergebnisvektor im Zeitpunkt t bei einer Strategie i und einem Umweltverlauf j
ZY	Zufallsvariable (Realisation einer Ergebnismenge Y_{ij})
ZZ^T	Zufallsvariable (Realisation einer Zielgröße)
z	Zielgröße
i	Index für Strategien i=1,...,M
j	Index für Umweltverläufe j=1,...,N
k	Index für Vektorkomponenten k=1,...,K
l	Index für Zielgrößen l=1,...,L
t	Zeitindex t=1,...,T

Lineares Programmierungsmodell

A	Anschaffungsausgabe für ein Aggregat
AB_t	Absatzhöchstmenge in Periode t
DS	Deckungsspanne je abgesetzter Mengeneinheit
FA_t	Finanzinvestition im Zeitpunkt t
KA_t	Kreditaufnahme im Zeitpunkt t
KAP	Kapazität in ME je Aggregat und Periode
T	Planungshorizont
V_T	Endvermögen
w_z	Wahrscheinlichkeit für den Übergang von einem Zustand z* zum Zustand z
w_z^T	Wahrscheinlichkeit einen Endknoten zu erreichen
X_t	Anzahl der zu beschaffenden Aggregate im Zeitpunkt t
Y_t	Absatzmenge in Periode t
ZA	Zinssatz für Finanzinvestitionen
ZK	Zinssatz für Fremdkapital
Z	Indexmenge für die Knoten eines Zustandsbaums
Z_t	Menge der einem Zeitpunkt t zugeordneten Zustände im Zustandsbaum
Z_α^z	Menge der Indizes auf dem Wege von einem Zustand α zu einem Zustand z
z*	Knoten, der einem Knoten z unmittelbar vorausgeht
z	Index für die Knoten eines Zustandsbaums
t	Zeitindex

Simulationsmodelle

A	Anschaffungsausgabe für ein Aggregat
AB(t)	Absatzhöchstmenge in Periode t
AP	Abschreibungsfaktor
BAV(t)	Anlagevermögen im Zeitpunkt t
BEK(t)	Eigenkapital im Zeitpunkt t
BFA(t)	Bestand an Finanzinvestitionen im Zeitpunkt t
BFK(t)	Bestand an Fremdkapital im Zeitpunkt t
BKB(t)	Zahlungsmittelbestand im Zeitpunkt t
DS	Deckungsspanne je abgesetzter Mengeneinheit
FA(t)	Ausgaben für Finanzinvestitionen in Periode t
FE(t)	Einnahmen aus aufgelösten Finanzinvestitionen in Periode t
FIN(t)	Investitionsausgaben in Periode t
FKA(t)	Kreditaufnahme in Periode t
FTI(t)	Tilgung von Krediten in Periode t

FUE(t)	Finanzielles Ergebnis einer Periode vor der Finanzierungsentscheidung
FV(t)	Nettoverkaufseinnahmen in Periode t
FZA(t)	Zinsausgaben in Periode t
FZE(t)	Zinseinnahmen in Periode t
GA(t)	Abschreibungen in Periode t
GDB(t)	Gesamtdeckungsbeitrag in Periode t
GG(t)	Periodengewinn
GZA(t)	Zinsaufwand in Periode t
GZE(t)	Zinsertrag in Periode t
KAP	Kapazität je Aggregat und Periode
KG(t)	Kapazitätsgrenze in Periode t
T	Planungshorizont
t	Zeitindex
S	Simulationszähler
S_{max}	Stichprobenumfang
V(T)	Endvermögen
X	Strategie
Y_t	Absatzmenge in Periode t

Abkürzungsverzeichnis für Zeitschriften

AI	Angewandte Informatik
HBR	Harvard Business Review
IO	Industrielle Organisation
JFQA	Journal of Financial and Quantitative Analysis
MI	Management International
MS	Management Science
ORQ	Operational Research Quarterly
QJoE	The Quarterly Journal of Economics
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfbF	Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung
ZfhF	Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung
ZfdgS	Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft

Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 1	Darstellung der Erwartungsstruktur über zukünftige Absatzmengen durch einen Zustandsbaum	26
Abb. 2	Entscheidungsbaum bei gegebenem Informationsstand	39
Abb. 3	Entscheidungsbaum bei Einschluß der Informationsentscheidung	43
Abb. 4	Verteilungsfunktion des Gewinns bei gegebenem Informationsstand	44
Abb. 5	Vergleich zweier Verteilungsfunktionen bei unterschiedlichem Informationsstand	45
Abb. 6	Zeitlich mehrstufige Alternativenfolgen	48
Abb. 7	Zusammenhang zwischen Strategien, Umwelt und Ergebnis	50
Abb. 8	Stufen der Modellbildung	53
Abb. 9	Zustandsbaum mit $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$	59
Abb. 10	Strategienmenge $X = \{X_1, X_2, X_3 X_4\}$	59
Abb. 11	Entscheidungsbaum	60
Abb. 12	Ausschnitt aus einem Entscheidungsbaum bei einer Strategie X_1	64
Abb. 13	Definition von Risiko und Chance an der Verteilungsfunktion einer Zielgröße z	69
Abb. 14	Strategieauswahl auf der Grundlage von Anspruchsniveau und Risikogrenze	75
Abb. 15	Zustandsbaum für ein Beispiel zur flexiblen Planung	87
Abb. 16	Entscheidungsbaum für den Vergleich zwischen starrer und flexibler Planung	92
Abb. 17	Vereinfachte Darstellung von Erfolgs-, Finanz- und Güterströmen in einer Unternehmung	103
Abb. 18	Flußdiagramm für ein zeitorientiertes Simulationsmodell	105
Abb. 19	Einkanaliges Bedienungssystem	106
Abb. 20	Zustandsgeschichte des Systems in Form einer integrierten Finanz- und Erfolgsplanung bei der vorgegebenen Strategie	125

Seite

Abb. 21 Erzeugung von qualitativ unterschiedenen Umweltzuständen entsprechend einer subjektiven Glaubwürdigkeitsverteilung mit Hilfe gleichverteilter Zufallszahlen aus dem Intervall / 0,1 / 129

Abb. 22 Strategienmenge ohne Entscheidungsspielraum in den Folgeperioden 130

Abb. 23 Durch Zufallszahlen gesteuerte Wege durch den Zustandsbaum 132

Abb. 24 Flußdiagramm für ein stochastisches Simulationsmodell 134

Abb. 25 Wahrscheinlichkeitsverteilung des Endvermögens 139

Abb. 26 Approximation einer diskreten Verteilungsfunktion durch eine stetige Verteilungsfunktion 140

Abb. 27 Vergleich der den Strategien X_1-X_5 zugeordneten Verteilungsfunktionen 142

Abb. 28 Entscheidungsbaum für ein Beispiel zur flexiblen Planung mit Hilfe eines stochastischen Simulationsmodells 149

Abb. 29 Ablauflogik des Simulationsmodells bei flexibler Planung 151

Abb. 30 Ausschnitt aus dem für das Beispiel geltenden Zustandsbaum 155

Abb. 31 Bestimmung des mit einer Strategie verbunden Illiquiditätsrisikos 160

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Erwartungsstruktur eines Planungsträgers für zwei Perioden 25

Tab. 2 Prognose von Absatzmengen bei Intervallschätzung 34

Tab. 3 Berechnung der Wahrscheinlichkeiten $w(M_1)$ und $w(M_2)$ 41

Tab. 4 Berechnung der revidierten Glaubwürdigkeitsgrade 42

Tab. 5 Gegenüberstellung der Ergebnisse bei starrer und flexibler Planung 96

Tab. 6 Ergebnisse bei starrer und flexibler Planung bei geänderten Zielwerten 96

Tab. 7 Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Durchführung einer Risikoanalyse 114

Tab. 8 Statistische Auswertung für Strategie X_1 138

Literaturverzeichnis

Abelson, R.P., Simulation of Social Behavior. In: The Handbook of Social Psychology, Hrsg. G. Lindzey und E. Aronson, Reading, Mass., 1968, S. 274 ff.

Aghte, K., Strategie und Wachstum der Unternehmung, Baden-Baden und Bad Homburg 1972.

Albach, H., Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln und Opladen 1959.

Derselbe, Investition und Liquidität, Wiesbaden 1962.

Alexis, M. und Wilson, C.Z., Organizational Decision Making, Englewood Cliffs, N.J., 1967.

Allais, M., Le Comportement de l'Homme Rationnel devant le Risque; Critique des Postulats et Axiomes de l'Ecole Américaine. In: Econometrica, Vol. 21 (1953), S. 503 ff.

Aurich, W., Die Simulation der strategischen Anpassung - Prüfung von Rationalisierungs- und Diversifikationsstrategien. In: Simulation als Instrument der Planung in Wirtschaft und Verwaltung, Hrsg. PROGNOS AG, Zürich 1973, S. 92 ff.

Barth, E., Der Entwurf eines Budgetsimulationsmodells unter Berücksichtigung von Zielniveau- und Zielprioritätsänderungen, Diss. München 1971.

Bellinger, B., Langfristige Finanzierung, Wiesbaden 1964.

Bendixen, P. und Kemmler, H.W., Planung - Organisation und Methodik innovativer Entscheidungsprozesse, Berlin und New York 1972.

Benson, A.L., Simulating a Company's Finances and Capital Needs. In: Computer Decisions (1971), H. 7, S. 8 ff. und H. 9, S. 20 ff.

Berthel, J. und Moews, D., Information und Planung in industriellen Unternehmungen, Berlin 1970.

Brim, O.G., Glass, B.C., Lavine, D.E. und Goodman, N., Personality and Decision Process, Studies in Social Psychology of Thinking, Stanford Cal. 1962.

Broermann, B., Computer Simulation in Place of Analytical Models for Strategic Planning. In: Proceedings of the Symposium on Computer Simulation Versus Analytical Solutions for Business and Economic Models, Gothenburg 1972, Vol. II, Hrsg. W. Goldberg, Göteborg 1973, S. 129.

Bucher, J.H., Integrierte Langfristplanung mittels Simulation (Eine Fallstudie), Diss. München 1972.

Budäus, D., Entscheidungsprozeß und Mitbestimmung, Wiesbaden 1975.

Carlton, W.T., Dick, D.L., Downes, D.H., Financial Policy Models: Theory and Practice. In: JFQA, Vol. 8 (1973), No. 5, S. 691 ff.

Caroni, L., Budgetsimulation, Bern-Stuttgart 1973.

Child, T.L. und Whiting, J.W.M., Determinants of Level of Aspiration: Evidence from Every day Life. In: The Study of Personality, Hrsg. H. Brand, New York 1954, S. 495 ff.

Clarkson, G.P.E., Portfolio Selection: A Simulation of Trust Investment, Englewood Cliffs, N.J. 1962.

Derselbe, A Model of Trust Investment Behaviour, In: A Behavioral Theory of the Firm, Hrsg. R.M. Cyert und J.G. March, Englewood Cliffs, N.J. 1963, S. 253 ff.

Chmielewitz, K., Integrierte Finanz- und Erfolgsplanung, Versuch einer dynamischen Mehrperiodenplanung, Stuttgart 1972.

Cyert, R.M. und March, J.G., A Behavioral Theory of the Firm, Englewood Cliffs, N.J. 1963.

Dinkelbach, W., Sensitivitätsanalysen und parametrische Programmierung, Berlin, Heidelberg und New York 1969.

Derselbe, Modell - ein isomorphes Abbild der Wirklichkeit?. In: Modell- und computergestützte Unternehmungsplanung, Hrsg. E. Grochla und N. Szyperski, Wiesbaden 1973, S. 151 ff.

Drukarczyk, J., Probleme individueller Entscheidungsrechnung, Wiesbaden 1975.

Edin, R., Wirkungsweise und Voraussetzungen der Prognose mit Verweilzeitverteilungen - Ergebnisse einiger Experimente mit Zufallszahlen. In: ZfB, 38. Jg. (1968), S. 743 ff.

Ehrensperger, P., Das finanzielle Unternehmungsmodell: Zentrales Element eines MIS. In: IO, 39. Jg. (1970), S. 366 ff.

Ellsberg, D., Risk, Ambiguity and the Savage Axioms. In: QJoE, Vol. 75 (1961), S. 643 ff.

Emshoff, J.R. und Sisson, R.L., Design and Use of Computer Simulation Models, New York und London 1970.

Forrester, J.W., Grundzüge einer Systemtheorie, Wiesbaden 1972.

Friedman, M. und Savage, L.J., The Utility Analysis of Choices Involving Risk. In: Readings in Price Theory, Hrsg. G.J. Stigler und K.E. Boulding, London 1960, S. 57 ff.

Gäfgen, G., Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 2. Aufl., Tübingen 1968.

Gershewski, G.W., Corporate Models - The State of the Art. In: Corporate Simulation Models, Hrsg. A.N. Schrieber, University of Washington, Seattle 1970, S. 26 ff.

Gessner, P. und Wacker, H., Dynamische Optimierung, München 1972.

Goldberg, W. (Hrsg.), Computer Simulation Versus Analytical Solutions. Proceedings of the Symposium on Computer Simulation, Gothenburg 1972, Vol. I und Vol. II, Göteborg 1973.

Grinyer, P.H. und Batt, C.D., Some Tentative Findings on Corporate Financial Simulation Models. In: ORQ, Vol. 25 (1974), No. 1, S. 149 ff.

Grob, H.L., Computergestützte Preispolitik - Preisstrategische Modelle für Marketing-Informationssysteme, Wiesbaden 1975.

Grochla, E., Wesen, Objekt und Vollzug der Unternehmungsplanung. In: Unternehmungsplanung als Instrument der Unternehmungsführung, AGPLAN-Schriftenreihe, Bd. 9, Wiesbaden 1965, S. 15 ff.

Hadley, G., Nichtlineare und dynamische Programmierung, Würzburg und Wien 1969.

Haegert, L., Der Einfluß der Steuern auf das optimale Investitions- und Finanzierungsprogramm, Wiesbaden 1971.

Hahn, D., Planungs- und Kontrollrechnung - PuK - Integrierte ergebnis- und liquiditätsorientierte Planungs- und Kontrollrechnung als Führungsinstrument in Industrieunternehmungen mit Massen- und Serienfertigung, Wiesbaden 1974.

Harbordt, S., Computersimulation in den Sozialwissenschaften, Bd. 1, Hamburg 1974.

Hart, A.G., Anticipations, Uncertainty and Dynamic Planning, Reprints of Economic Classics, New York 1965.

Hax, H., Investitions- und Finanzplanung mit Hilfe linearer Programmierung. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 430 ff.

Derselbe, Die Koordination von Entscheidungen, Köln, Berlin, Bonn und München 1965.

Derselbe, Investitionstheorie, Würzburg und Wien 1970.

Derselbe, Entscheidungsmodelle in der Unternehmung/Einführung in Operations-Research, Hamburg 1974.

Hax, H. und Laux, H., Flexible Planung - Verfahrensregeln und Entscheidungsmodelle für die Planung bei Ungewißheit. In: ZfbF, 24. Jg. (1972), S. 318 ff.

Heider, M., Simulationsmodelle zur Risikoanalyse für Investitionsplanung, Diss. Bonn 1969.

Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung, Wiesbaden 1966.

Derselbe, Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1968.

Derselbe, Industriebetriebslehre als Entscheidungslehre. In: Industriebetriebslehre - Entscheidungen im Industriebetrieb, Hrsg. E. Heinen, Wiesbaden 1972, S. 21 ff.

Hertz, D.B., Risk Analysis in Capital Investment. In: HBR, Vol. 42 (1964), No. 1, S. 95 ff.

Derselbe, Investment Policies that Pay off. In: HBR Vol. 46 (1968), No. 1, S. 96 ff.

Hespos, R.F. und Strassmann, P.A., Stochastic Decision Trees for the Analysis of Investment Decisions. In: MS, Vol. 11 (1965), No. 10, S. B-244 ff.

Hill, W., Unternehmungsplanung, Stuttgart 1966.

Hill, W., Fehlbaum, R. und Ulrich, P., Organisationslehre, Bd. 1, Bern und Stuttgart 1974.

Irle, M., Macht und Entscheidungen in Organisationen, Frankfurt 1971.

Jacob, H., Neuere Entwicklungen in der Investitionstheorie, Wiesbaden 1964.

Derselbe, Zum Problem der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen. In: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 169 ff.

Jochum, H., Flexible Planung als Grundlage unternehmerischer Investitionsentscheidungen, Diss. Saarbrücken 1969.

Jones, G.T., Simulation and Business Decisions, Harmondsworth, Middlesex 1972.

Kirsch, W., Gewinn und Rentabilität, Wiesbaden 1968.

Derselbe, Entscheidungsprozesse, Erster Band, Verhaltenswissenschaftliche Ansätze der Entscheidungstheorie, Wiesbaden 1970.

Derselbe, Entscheidungsprozesse, Band 2, Informationsverarbeitungstheorie des Entscheidungsverhaltens, Wiesbaden 1971.

Klaus, G. und Buhr, M. (Hrsg.), Philosophisches Wörterbuch, 8. Aufl., Berlin 1972.

Klein, H., Heuristische Entscheidungsmodelle, Wiesbaden 1971.

Klir, G.J., An Approach to General Systems Theory New York u.a. 1969.

Klir, J. und Valach, M., Cybernetic Modelling, London 1967.

Knight, F.H., Risk, Uncertainty and Profit, 7. Aufl., Boston und New York 1957.

Koch, H., Betriebliche Planung - Grundlagen und Grundfragen der Unternehmungspolitik, Wiesbaden 1961.

Kosiol, E., Planung als Lenkungsinstrument der Unternehmungsleitung. In: ZfB, 35. Jg. (1965), S. 389 ff.

Koxholt, R., Simulation - ein Hilfsmittel der Unternehmungsforschung, München und Wien 1967.

Krelle, W., Unsicherheit und Risiko in der Preisbildung. In: Preistheorie, Hrsg. A.E. Ott, Köln und Berlin 1965.

Derselbe, Präferenz- und Entscheidungstheorie, Tübingen 1968.

Krüger, S., Simulation - Grundlagen, Techniken, Anwendungen, Berlin-New York 1975.

Kupsch, P.U., Das Risiko im Entscheidungsprozeß, Wiesbaden 1973.

Lahrmann, W., Rationale Unternehmerische Entscheidungen bei unvollkommener Information, Frankfurt und Zürich 1973.

Langen, H., Betriebliche Zahlungsströme und ihre Planung in dynamischer Sicht. In: ZfB, 35. Jg. (1965), S. 261 ff.

Lassak, H.-P., Kapitalbudget, Unsicherheit und Finanzierungsentscheidung, Meisenheim am Glan 1973.

Laux, H., Flexible Investitionsplanung - Einführung in die Theorie der sequentiellen Entscheidung bei Unsicherheit, Opladen 1971.

Lehmer, D., Mathematical Methods in Large Scale Computing Units. In: Annals of the Computer Laboratory, Harvard University, Vol. 26 (1951), S. 141 ff.

Leist, G. und Tröcher, H., Arbeitsunterlagen zum Seminar. "Erfahrungen bei der Anwendung eines Finanzplanungsmodells vom Simulationstyp in der Praxis", Frankfurt 1974.

Lenk, H., Erklärung - Prognose - Planung, Skizzen zu Brennpunktproblemen der Wissenschaftstheorie, Freiburg 1972.

Lewin, K., Dembo, T., Festinger, L. und Sears, P.S., Level of Aspiration. In: Personality and the Behavior of Disorders, Hrsg. J.M. Hunt, New York 1944, S. 333 ff.

Lücke, W., Finanzplanung und Finanzkontrolle in der Industrie, Wiesbaden 1965.

Ludewig, J., Simulationsmodelle ganzer Unternehmungen, Wiesbaden 1975.

Luhmann, N., Zweckbegriff und Systemrationalität, Tübingen 1968.

Macharzina, K., Reduktion von Ungewißheit und Komplexität durch Prognose und Planung. In: MI, Vol. 15 (1975), S. 29 ff.

Magee, J.F., How to Use Decision Trees in Capital Investment. In: HBR. Vol. 42 (1964), No. 5, S. 79 ff.

Mao, J.C.T., Essentials of Computer Simulation. In: Financial Executive (1967), S. 55 ff.

March, J.G. und Simon, H.A., Organizations, New York und London 1958.

Marshall, A., Principles of Economics, 8. Aufl., London 1964, S. 314 ff.

Mattessich, R., Simulation of the Firm through a Budget Computer Program, Homewood Ill., 1964.

Meller, F., Computergestützte Investitionsplanung mittels Risikoanalyse. In: AI, 16. Jg. (1974), S. 176 ff.

Mellwig, W., Anpassungsfähigkeit und Ungewißheitstheorie, Tübingen 1972.

Menges, G., Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen, 2. Aufl., Düsseldorf 1974.

Mertens, P., Simulation, Stuttgart 1969.

Morgenstern, D., Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik, Berlin, Heidelberg und New York 1968.

Moxter, A., Die Bestimmung des Kalkulationszinsfußes bei Investitionsentscheidungen. In: ZfhF, 13. Jg. (1963), S. 186 ff.

Naylor, T.H., Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems, New York 1971.

Derselbe, Towards a Theory of Corporate Simulation Models. In: Proceedings of the Symposium on Computer Simulation Versus Analytical Solutions For Business and Economic Models, Gothenburg 1972, Vol. II, Hrsg. W. Goldberg, Göteborg 1973, S. 149 ff.

Naylor, T.H. und Finger, J.M., Validation. In: Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems, Hrsg. T.H. Naylor, New York u.a. 1971.

Newell, A., Shaw, J.C. und Simon, H.A., The Process of Creative Thinking. In: Contemporary Approaches to Creative Thinking, Hrsg. H.E. Gruber, Terrel, G. und Wertheimer, M., 4. Aufl., New York 1967.

o.V., IBM-Application Program, System /360 Scientific Subroutine Package, Version III, 5. Aufl., 1970.

Orcutt, G.H., Micoroanalytic Models for Regional Analysis. In: Design of Regional Accounts, Hrsg. W. Hochwald, Homewood 1968.

Ozbekhan, H., Toward a General Theory of Planning. In: Perspectives of Planning, Hrsg. E. Jantsch, Paris 1969, S. 47.

Pichler, F., Mathematische Systemtheorie - Dynamische Konstruktionen, Berlin und New York 1973.

Raiffa, H., Einführung in die Entscheidungstheorie, München und Wien 1973.

Rasch, D., Elementare Einführung in die mathematische Statistik, Berlin 1970.

Rehberg, J., Wert und Kosten von Informationen, Frankfurt und Zürich 1973.

Rittel, H., Der Planungsprozeß als iterativer Vorgang zur Varietätserzeugung und Varietätseinschränkung. In: Arbeitsberichte zur Planungsmethodik, Bd. 4, Stuttgart 1970, S. 17-31.

Robichek, A.A., The Use of Computer Simulation in Financial Planning. In: Financial Research and Management Decisions, Hrsg. A.A. Robichek, New York, London und Sydney 1967, S. 200 ff.

Sauermann, H. und Selten, R., Anspruchsanpassungstheorie der Unternehmung. In: ZfdgS (1962), S. 577 ff.

Schelski, H., Planung der Zukunft. Die rationale Utopie und die Ideologie der Rationalität. In: Soziale Welt, 17. Jg. (1966), S. 161 ff.

Schmidthals, J. und Daudt, W., Investitionsplanung bei unsicheren Erwartungen - Ein Simulationsmodell zur Ermittlung des wahrscheinlichsten Erfolgs geplanter Investitionen. In: IBM Nachrichten, 21. Jg. (1970), H. 204, S. 501 ff.

Schneeweiß, H., Entscheidungskriterien bei Risiko, Berlin, Heidelberg und New York 1967.

Schneider, D., Investition und Finanzierung, 2. Aufl., Opladen 1971.

Derselbe, Flexible Planung als Lösung der Entscheidungsprobleme unter Ungewißheit?. In: ZfbF, 23. Jg. (1971), S. 831 ff.

Schrieber, A.N. (Hrsg.), Corporate Simulation Models, University of Washington, Seattle 1970.

Seelbach, H., Planungsmodelle in der Investitionsrechnung, Würzburg und Wien 1967.

Shackle, G.L.S., Expectation in Economics, 2. Aufl., Cambridge 1952.

Sikora, K. und Mans, G., Elemente von Unternehmungsmodellen bei der Langfristplanung. In: AI, 16. Jg. (1974), S. 191 ff.

Simon, H.A., Administrative Behavior, 2. Aufl., New York 1957.

Derselbe, Models of Man, New York und London 1957.

Stachowiak, H., Grundriß einer Planungstheorie. In: Kommunikation. 6. Jg. (1970), S. 1 ff.

Derselbe, Allgemeine Modelltheorie, Wien und New York 1973.

Streitferdt, L., Grundlagen und Probleme der betriebswirtschaftlichen Risikotheorie, Wiesbaden 1973.

Szyperski, N., Planungswissenschaft und Planungspraxis. Welchen Beitrag kann die Wissenschaft zur besseren Beherrschung von Planungsproblemen leisten?. In: ZfB, 44. Jg. (1974), S. 667 ff.

Szyperski, N., Forschungs- und Entwicklungsprobleme der Unternehmungsplanung. In: Modell- und computergestützte Unternehmungsplanung, Hrsg. E. Grochla und N. Szyperski, Wiesbaden 1973, S. 21 ff.

Theil, H., Applied Economic Forecasting, Amsterdam 1966.

Ulrich, H., Die Unternehmung als produktives, soziales System, Stuttgart und Bern 1968.

Wagner, H., Zum Problem der Zielfunktion in einer operationalen Theorie der betrieblichen Kapitaldisposition. Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Münster 1970.

Waldmann, J., Optimale Unternehmensfinanzierung, Diss. Münster 1971.

Weber, H., Die Spannweite des betriebswirtschaftlichen Planungsbegriffs. In: ZfbF, 16. Jg. (1964), S. 724 ff.

Weisser, J., Planung: Zur Klärung wichtiger Begriffe. In: Unternehmungsplanung, Reader + Abstracts, Hrsg. J. Wild, Hamburg 1975, S. 22 ff.

Wild, H., Input-, Output- und Prozeßanalyse von Informationssystemen. In: ZfbF, 22. Jg. (1970), S. 50 ff.

Derselbe, Informationskostenrechnung auf der Grundlage informationeller Input-, Output- und Prozeßanalysen. In: ZfbF, 22. Jg. (1970), S. 218 ff.

Derselbe, Grundlagen der Unternehmungsplanung, Hamburg 1974.

Wintgen, G., Zur mengentheoretischen Definition und Klassifizierung kybernetischer Systeme. In: Statistische Hefte, 11. Jg. (1970), S. 261 ff.

Witte, E., Phasen - Theorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe. In: ZfbF, 20. Jg. (1968), S. 625 ff.

Witte, T., Simulationstheorie und ihre Anwendung auf betriebliche Systeme, Diss. Münster 1973.

Wittmann, W., Unternehmung und unvollkommene Information, Köln und Opladen 1959.

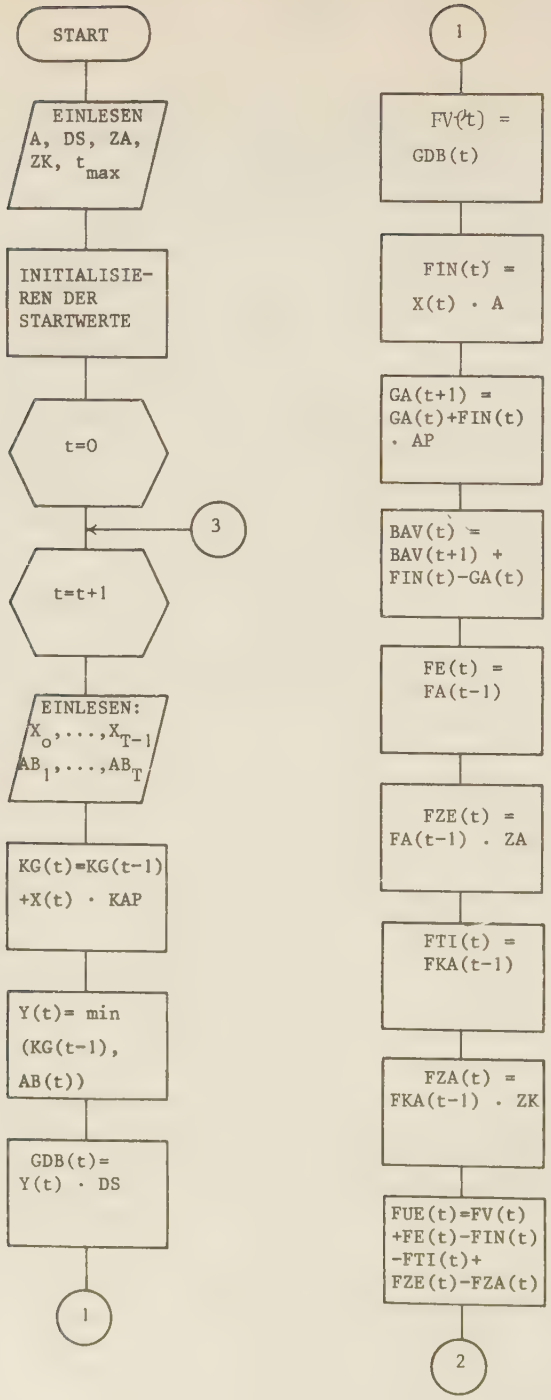
Zahn, E., Zur Anwendung mathematischer Modelle bei der strategischen Planung. In: Modell- und computergestützte Unternehmungsplanung, Hrsg. E. Grochla und N. Szyperski, Wiesbaden 1973, S. 597 ff.

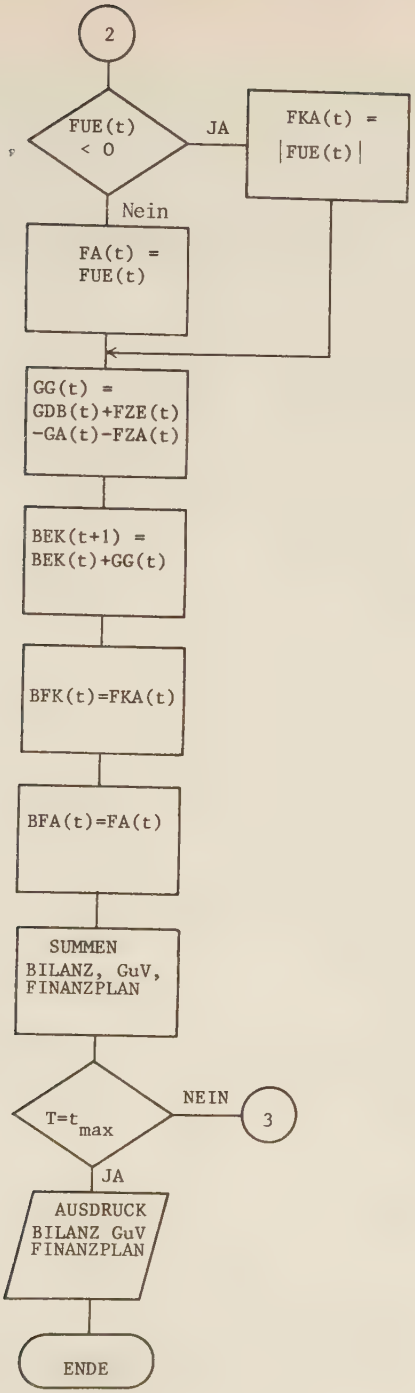
von Zwehl, W., Untersuchung zur Erstellung einer Planbilanz als Ergänzung des Jahresabschlusses, Berlin 1968.

Anhang I

- *Flußdiagramm zum Programm FSM1*

- *Befehlsliste des Programms FSM1*


START
EINLESEN A, DS, ZA, ZK, t_{max}
INITIALISIEREN DER STARTWERTE
t=0
3
t=t+1
EINLESEN: $X_0,\ldots,X_{T-1}$ $AB_1,\ldots,AB_T$
KG(t)=KG(t-1) +X(t) · KAP
Y(t)= min (KG(t-1), AB(t))
GDB(t)= Y(t) · DS
1
1
FV(t) = GDB(t)
FIN(t) = X(t) · A
GA(t+1) = GA(t)+FIN(t) · AP
BAV(t) = BAV(t+1) + FIN(t)-GA(t)
FE(t) = FA(t-1)
FZE(t) = FA(t-1) · ZA
FTI(t) = FKA(t-1)
FZA(t) = FKA(t-1) · ZK
FUE(t)=FV(t) +FE(t)-FIN(t) -FTI(t)+ FZE(t)-FZA(t)
2


2
FUE(t) < 0
JA
FKA(t) = |FUE(t)|
Nein
FA(t) = FUE(t)
GG(t) = GDB(t)+FZE(t) -GA(t)-FZA(t)
BEK(t+1) = BEK(t)+GG(t)
BFK(t)=FKA(t)
BFA(t)=FA(t)
SUMMEN BILANZ, GuV, FINANZPLAN
T=t max
NEIN
3
JA
AUSDRUCK BILANZ GuV FINANZPLAN
ENDE

```
C
C      ES 41
C
C      DETERMINISTISCHES MODELL
C
       REAL*4 M(10),KAP(10),I(10),Y(10),E(10),A(10),EF(10),TIL(10),
      *       PU(10),LIO(10),KA(10),FA(10),EK(10),G(10),ZE(10),ZA(10
      *      AV(10),SA(10),SP(10),SAU(10),SER(10),SAUS(10),
      *       SEIN(10),VT(10),AFA(10)
       INTEGER*2 T,T1,TMAX
C
C      EINLESEN DER SIMULATIONSDAUER
C
       READ(5,5000) TMAX,IOUT
 5000  FORMAT(2I2)
C
C      INITIALISIEREN
C
  10   M(1)=0.
       KAP(1)=0.
       FA(1)=0.
       KA(1)=0.
       EK(2)=0.
       AV(1)=0.
       AFA(2)=0.
C
C      SETZEN DER PARAMETER
C
       P=1000.
       D=5.
       PA=0.05
       PK=0.05
       T=1
C
C      EINLESEN VON STRATEGIE UND DATENSITUATION
C
       READ(5,5010,END=9999) (I(J),J=2,6),(VT(J),J=2,6)
 5010  FORMAT(5F2.0/5F4.0)
C
  20   T=T+1
       M(T)=M(T-1)+I(T)
       KAP(T)=KAP(T-1)+I(T)*100.
       Y(T)=AMIN1(VT(T),KAP(T-1))
       E(T)=D*Y(T)
       EF(T)=FA(T-1)
       ZE(T)=FA(T-1)*PA
       A(T)=P*I(T)
       AFA(T+1)=AFA(T)+A(T)/10.
       AV(T) =AV(T-1)+A(T)-AFA(T)
       TIL(T)=KA(T-1)
       ZA(T)=KA(T-1)*PK
       PU(T)=E(T)+EF(T)-A(T)-TIL(T)+ZE(T)-ZA(T)
       KA(T)=AMIN1(0.,PU(T))
       KA(T)=KA(T)*(-1.)
       FA(T)=AMAX1(0.,PU(T))
       LIO(T)=E(T)+EF(T)-FA(T)-A(T)-KA(T)-TIL(T)+ZE(T)-ZA(T)
       IF(LIO(T).LT.0.1) LIO(T)=0.
       G(T)=E(T)+ZE(T)-ZA(T)-AFA(T)
```

```
      EK(T+1)=EK(T)+G(T)
      SA(T)=AV(T)+FA(T)+LIQ(T)
      SP(T)=EK(T)+KA(T)+G(T)
      SAU(T)=ZA(T)+G(T)+AFA(T)
      SER(T)=E(T)+ZE(T)
      SAUS(T)=A(T)+FA(T)+TIL(T)+ZA(T)+LIQ(T)
      SEIN(T)=E(T)+EF(T)+ZE(T)+KA(T)
      IF(IOUT.EQ.1) GOTO 30
      T1=T-2
      WRITE(6,6000) T1
      WRITE(6,6001)
      WRITE(6,6002) AV(T),EK(T),FA(T),KA(T),LIQ(T),G(T),SA(T),SP(T)
      WRITE(6,6003)
      WRITE(6,6004) AFA(T),E(T),ZA(T),ZE(T),G(T),SAU(T),SER(T)
      WRITE(6,6005)
      WRITE(6,6006) E(T),A(T),EF(T),FA(T),ZE(T),ZA(T),KA(T),TIL(T),
     *              LIQ(T),SEIN(T),SAUS(T)
      IF(T.EQ.TMAX) GOTO 10
      GOTO 20
C
C     VERKUERZTER OUTPUT
C
   30 IF(T.LT.TMAX) GOTO 20
C
C     OUTPUT
C
      WRITE(6,6010)
      WRITE(6,6020) (AV(J),J=3,6),(EK(J),J=3,6)
      WRITE(6,6020) (FA(J),J=3,6),(KA(J),J=3,6)
      WRITE(6,6020) (LIQ(J),J=3,6),(G(J),J=3,6)
      WRITE(6,6050)
      WRITE(6,6020) (SA(J),J=3,6),(SP(J),J=3,6)
      WRITE(6,6060)
      WRITE(6,6030)
      WRITE(6,6020) (AFA(J),J=3,6),(E(J),J=3,6)
      WRITE(6,6020) (ZA(J),J=3,6),(ZE(J),J=3,6)
      WRITE(6,6022) (G(J),J=3,6)
      WRITE(6,6050)
      WRITE(6,6020) (SAU(J),J=3,6),(SER(J),J=3,6)
      WRITE(6,6060)
      WRITE(6,6040)
      WRITE(6,6020) (E(J),J=3,6),(A(J),J=3,6)
      WRITE(6,6020) (EF(J),J=3,6),(FA(J),J=3,6)
      WRITE(6,6020) (ZE(J),J=3,6),(ZA(J),J=3,6)
      WRITE(6,6020) (KA(J),J=3,6),(TIL(J),J=3,6)
      WRITE(6,6021) (LIQ(J),J=3,6)
      WRITE(6,6050)
      WRITE(6,6020) (SAUS(J),J=3,6),(SEIN(J),J=3,6)
      WRITE(6,6060)
      GOTO 10
 9999 STOP
 6000  FORMAT('1'/' PERIODE=',I2/1X,10('=')///)
 6001  FORMAT(T2,'AKTIVA',T28,'PASSIVA'/T2,60('-'))
 6002  FORMAT(T2,'ANLAGEVERMOEGEN',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,'EIGENKAPITAL'/
     *       T2,'FINANZANLAGEN',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,'FREMDKAPITAL'/
     *       T2,'KASSE,BESTAND',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,'GEWINN'/
     *       T2,60('-')/T22,F8.2,2X,F8.2/T2,60('=')////)
 6003  FORMAT(T2,'UMLAUF',T28,'GUV',T48,'ERTRAG'/T2,60('-'))
```

```
 6004 FORMAT(T2,'ABSCHREIBUNGEN',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,
     *       'DECKUNGSBEITRAEGE'/
     *       T2,'ZINSAUFWAND',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,'ZINSERTRAG'/
     *       T2,'GEWINN',T22,F8.2/
     *       T2,60('-')/T22,F8.2,2X,F8.2,/T2,60('=')////)
 6005 FORMAT(T2,'EINNAHMEN',T28,'FINANZRECHNUNG',T48,'AUSGABEN'/
     *       T2,60('-'))
 6006 FORMAT(T2,'DECKUNGSBEITRAEGE',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,
     *       'INVESTITIONSAUSGABEN'/
     *       T2,'FINANZINVESTITION',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,
     *       'FINANZINVESTITION'/
     *       T2,'ZINSEINNAHMEN',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,'ZINSAUSGABEN'/
     *       T2,'KREDITAUFNAHME',T22,F8.2,2X,F8.2,T45,'KREDITTILGUNG'
     *       T32,F8.2,T45,'KASSENBESTAND'/
     *       T2,60('-')/T22,F8.2,2X,F8.2/T2,60('='))
C
C      FORMATE VERKUERZTER OUTPUT
C
 6010 FORMAT('1',5X,'ENTWICKLUNG DER BILANZ'//)
 6020 FORMAT(6X,4F10.2,2X,4F10.2)
 6021 FORMAT(48X,4F10.2)
 6022 FORMAT(6X,4F10.2)
 6030 FORMAT(6X,'ENTWICKLUNG DER GUV'//)
 6040 FORMAT(6X,'ENTWICKLUNG DER FINANZRECHNUNG'//)
 6050 FORMAT(6X,82('-')/)
 6060 FORMAT(6X,82('=')///)
      END
```

Anhang II

- *Befehlsliste des Programms FSM2*

- *Druckausgabe des Programms FSM2*

```
C     ESM2
C     STOCHASTISCHES SIMULATIONSMODELL
C
C
C
C     SPEICHERDEFINITIONEN
C
      INTEGER*2 I,TMAX,PMAX,S,SMAX,KNNR
      INTEGER*2 KMATR(15,31)/465*0/,Z(31),BED(4)
      REAL*4 W(31),WU(31),WO(31),V(31),RANGE(31),P(4),I(6)
      REAL*4 M(10),KAP(10),E(10),A(10),EF(10),TIL(10),PU(10),LIQ(10),
     *       KA(10),FA(10),EK(10),G(10),ZE(10),ZA(10),AV(10),SA(10),
     *       SP(10),SAU(10),SER(10),SAUS(10),SEIN(10),AFA(10),Y(10)
      REAL*4 STATS(20,5,4),EBER(80),AVEC(1000),UBO(3),
     *       SL(1000)/1000*1.0/
      REAL*4 FREQ(20),PCT(20),STERN/'*'/,BLANC/' '/
      REAL*4 STATSL(5),TEXT(10)
      UBO(1)=1.
      UBO(2)=12.
      UBO(3)=1.
C
C     EINGABE VON PERIODENLAENGE,PARAMETER,SIMULATIONSUMFANG
C
      READ(5,5000) TMAX,SMAX,PMAX,(P(L),L=1,4),UBO(2)
 5000 FORMAT(3I5,2F5.0,3F5.2)
C
C     EINGABE DES ZUSTANDSBAUMS
C
      READ(5,5010) JNF,JMAX
 5010 FORMAT(2I2)
C
C     EINGABE DER MATRIX DER NACHFOLGEKNOTEN
C
      DO 10 J=1,JNF
      READ(5,5020) NA1,NA2
 5020 FORMAT(2I2)
      KMATR(J,NA1)=1
 10   KMATR(J,NA2)=1
C
C     EINGABE DER DEN KNOTEN ZUGEORDNETEN DATEN
C
      DO 20 J=1,JMAX
 20   READ(5,5030) Z(J),W(J),WU(J),WO(J),V(J),RANGE(J)
 5030 FORMAT(I1,4X,5F5.0)
C
C     EINGABE DER ZU TESTENDEN STRATEGIE SOWIE DER
C     BEDINGUNGEN, UNTER DENEN DIESE STRATEGIE DURCHGE-
C     FUEHRT WERDEN SOLL
C
C
      REWIND 14
 30   READ(5,5040,END=9999) (I(J),J=1,TMAX),(BED(J),J=1,PMAX),IX,
     *(TEXT(J),J=1,10)
 5040 FORMAT(6F2.0,3X,4I1,1X,I1,10A4)
C
C     BEGINN DER SIMULATION
C
C
C     SIMULATIONSZAEHLER AUF ANFANGSWERT STELLEN
C
      S=0
      REWIND 13
C
```

```
C     BEGINN DER SIMULATIONSSCHLEIFE
C
 40   S=S+1
C
C     INITIALISIEREN DES SIMULATIONSMODELLS
C
C
      M(1)=0.
      KAP(1)=0.
      EA(1)=0.
      AV(1)=0.
      EK(1)=0.0
      EK(2)=0.0
      AFA(1)=0.
      KA(1)=0.0
      AFA(2)=0.
C
C     PERIODENZAEHLER AUF ANFANG STELLEN
C
      T=2
C
C     ERZEUGEN DER EROEFFNUNGSBILANZ
C
      CALL SIM (M,KAP,I,E,A,EF,TIL,PU,LIQ,KA,FA,EK,G,ZE,ZA,
     *          AV,SA,SP,SAU,SER,SAUS,SEIN,AFA,0.,T,P,Y)
C
C     BEGINN DER PERIODENSCHLEIFE
      KNNR=1
 50   T=T+1
C
C     ERZEUGEN EINER REALISATION DES UMWELTVERLAUFES
C
      CALL REAL (T,KNNR,KMATR,BED,Z,JMAX,IX,WU,WO,V,RANGE,YMAX)
C
C     BERECHNUNG DER ERGEBNISSE FUER PERIODE T
C
      CALL SIM (M,KAP,I,E,A,EF,TIL,PU,LIQ,KA,FA,EK,G,ZE,ZA,
     *          AV,SA,SP,SAU,SER,SAUS,SEIN,AFA,YMAX,T,P,Y)
      IF(T.LT.TMAX) GOTO 50
C
C     SPEICHERN DER ERGEBNISSE DES SIMULATIONSLAUFS
      WRITE(13,1300) PU(6)
 1300 FORMAT(A4)
      IF (S.LT.SMAX) GOTO 40
C
C     AUSWERTUNG DES SIMULATIONSLAUFES
C
C
C     BESTIMMUNG DER VERTEILUNG FUER DIE ZIELGROESSEN
C
      REWIND 13
      DO 60 K=1,SMAX
      READ (13,1300) ZU1
 60   AVEC(K)=ZU1
      CALL TABL (AVEC,SL,1,UB),FREQ,PCT,STATSL,SMAX,1,TEXT)
      JZ=UB0(2)
      CALL HIST(1,FREQ,JZ,STERN,BLANC)
      GOTO 30
 9999 STOP
      END
      SUBROUTINE REAL(T,KNNR,KMATR,BED,Z,JMAX,IX,WU,WO,V,RANGE,YMAX)
      REAL*4 AINT
      REAL*4 WU(1),WO(1),V(1),RANGE(1)
```

```
      T1=T-2
C
C     ERMITTLUNG DES ERSTEN UND LETZTEN NACHFOLGEKNOTENS
C
      SCHALT=.FALSE.
      DO 30 J=1,JMAX
      IF(KMATR(KNNR,J)) 30,30,10
 10   IF(SCHALT) GOTO 20
      KTA=J
      SCHALT=.TRUE.
      GOTO 30
 20   KTE=J
 30   CONTINUE
C
C     UEBERPRUEFUNG OB ALLE FOLGEZUSTAENDE ZULAESSIG SIND
C
      IF(BED(T1).EQ.0) GOTO 45
C
C     ERMITTLUNG DER KNOTENNUMMER DES ZULAESSIGEN FOLGEZUSTANDES
C
      DO 40 I=KTA,KTE
      IF (Z(I).NE.BED(T1)) GOTO 40
      KNNR=I
 40   CONTINUE
      GOTO 70
C
C     ERMITTLUNG DER KNOTENNUMMER EINES MOEGLICHEN FOLGEZUSTANDES
C
 45   CALL RANDU (IX,IY,Y)
      IX=IY
      DO 70 I=KTA,KTE
      IF(Y.GT.WU(I)) GOTO 50
      GOTO 70
 50   IF(Y.LE.WO(I)) GOTO 60
      GOTO 70
 60   KNNR=I
 70   CONTINUE
C
C
C     ERMITTLUNG EINER DEM KNOTEN KNNR ZUGEORDNETEN DATENSITUATION
C
      CALL RANDU (IX,IY,Y)
      IX=IY
      YMAX=V(KNNR)+RANGE(KNNR)*Y
      YMAX=AINT(YMAX)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE SIM (M,KAP,I,E,A,EF,TIL,PU,LIQ,KA,FA,EK,G,ZE,ZA,
     *                AV,SA,SP,SAU,SER,SAUS,SEIN,AFA,YMAX,T,P,Y)
      REAL*4 M(1),KAP(1),I(1),E(1),A(1),EF(1),TIL(1),PU(1),LIQ(1),
     *       KA(1),FA(1),EK(1),G(1),ZE(1),ZA(1),AV(1),SA(1),SP(1),
     *       SAU(1),SER(1),SAUS(1),SEIN(1),AFA(1),P(1),AMAX1,AMIN1,Y(
      INTEGER*2 T
C
C     SIMULATIONSMODELL
C
      M(T)=M(T-1)+I(T)
      KAP(T)=KAP(T-1)+I(T)*100.
      Y(T)=AMIN1(YMAX,KAP(T-1))
      E(T)=P(1)*Y(T)
      EF(T)=FA(T-1)
      ZE(T)=FA(T-1)*P(4)
      A(T)=I(T)*P(2)
      AFA(T+1)=AFA(T)+A(T)/10.
      AV(T)=AV(T-1)+A(T)-AFA(T)
```

```
      TIL(T)=KA(T-1)
      ZA(T)=KA(T-1)*P(3)
      PU(T)=E(T)+EF(T)-A(T)-TIL(T)+ZE(T)-ZA(T)
      KA(T)=AMIN1(0.,PU(T))
      KA(T)=KA(T)*(-1.)
      FA(T)=AMAX1(0.,PU(T))
      LIQ(T)=E(T)+EF(T)-FA(T)-A(T)+KA(T)-TIL(T)+ZE(T)-ZA(T)
      IF(LIQ(T).LT.0.1) LIQ(T)=0.
      G(T)=E(T)+ZE(T)-ZA(T)-AFA(T)
      EK(T+1)=EK(T)+G(T)
      SA(T)=AV(T)+FA(T)+LIQ(T)
      SP(T)=EK(T)+KA(T)+G(T)
      SAU(T)=AFA(T)+ZA(T)+G(T)
      SER(T)=E(T)+ZE(T)
      SAUS(T)=A(T)+FA(T)+TIL(T)+ZA(T)+LIQ(T)
      SEIN(T)=E(T)+EF(T)+ZE(T)+KA(T)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE HIST (NU,FREQ,IN,STERN,BLANC)
C
C     NU    - HISTOGRAM NUMBER
C     FREQ  - VECTOR OF FREQUENCIES
C     IN    - NUMBER OF INTERVALLS AND LENGTH OF FREQ
C     STERN - CONTAINS CHARACTER *
C     BLANC - CONTAINS CHARACTER ' '
C
      DIMENSION JOUT(20),FREQ(20),OUT(20)
C
C     PRINT TITLE
C
      WRITE(6,4) NU
      DO 12 I=1,IN
   12 JOUT(I)=FREQ(I)
      WRITE(6,5) (JOUT(I),I=1,IN)
      WRITE(6,7)
C
C     FIND LARGEST FREQUENCY
C
      FMAX=0.
      DO 20 I=1,IN
      IF(FREQ(I)-FMAX) 20,20,15
   15 FMAX=FREQ(I)
   20 CONTINUE
C
C     SCALE IF NECESSARY
C
      JSCAL=1
      IF(FMAX-50.) 40,40,30
   30 JSCAL=(FMAX+49.)/50.
      WRITE(6,1) STERN,JSCAL
C
C     CLEAR OUTPUTAREA TO BLANCS
C
   40 DO 50 I=1,IN
   50 OUT(I)=BLANC
C
C     LOCATE FREQUENCIES
C
      MAX=FMAX/FLOAT(JSCAL)
      DO 80 I=1,MAX
      X=MAX-(I-1)
      DO 70 J=1,IN
      IF(FREQ(J)/FLOAT(JSCAL)-X) 70,70,60
   60 OUT(J)=STERN
```

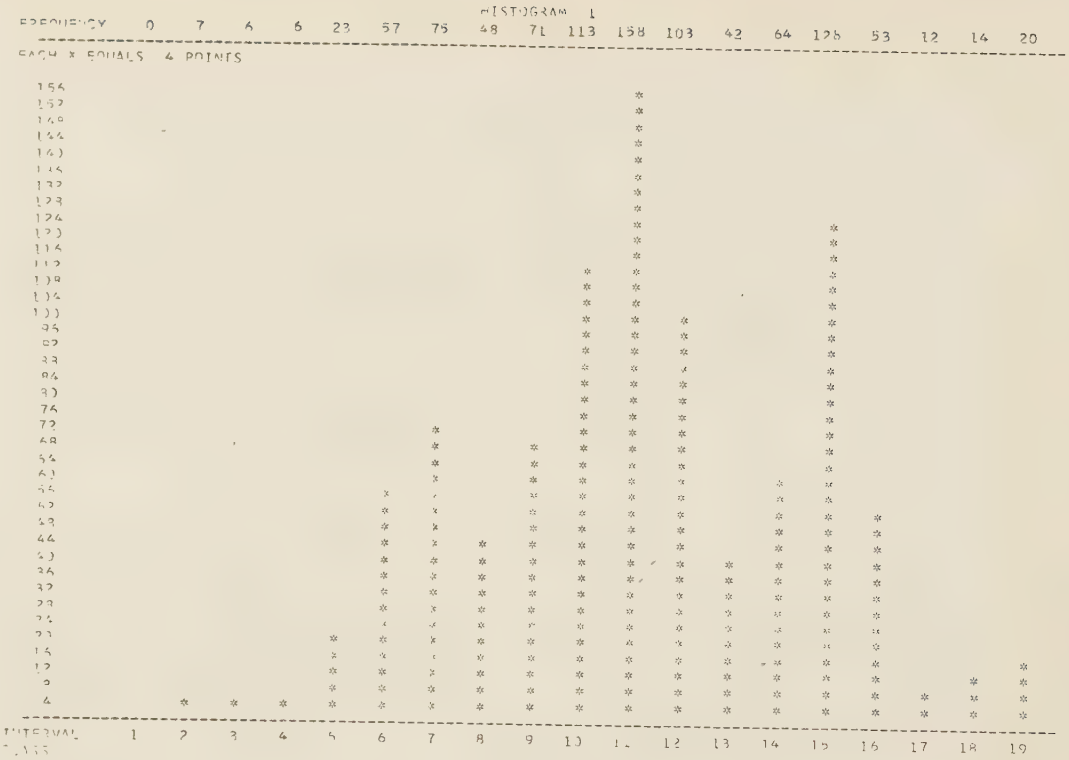
```
      IX=X*FLOAT(JSCAL)
C
C     PRINT LINE
C
 80   WRITE(6,2) IX,(OUT(J),J=1,IN)
C
C     GENERATE CONSTANTS
C
      DO 90 I=1,IN
 90   JOUT(I)=I
C
C     PRINT NUMBERS OF INTERVALS
C
      WRITE(6,7)
      WRITE(6,3) (JOUT(I),I=1,IN)
      WRITE(6,6)
 1    FORMAT(' EACH ',A1,' EQUALS ',I2,' POINTS'/)
 2    FORMAT(I6,4X,20(4X,A1))
 3    FORMAT(' INTERVAL',4X,19(I2,3X),I2)
 4    FORMAT('1',47X,'HISTOGRAM',I3)
 5    FORMAT(' FREQUENCY',20I5)
 6    FORMAT(' CLASS')
 7    FORMAT(3X,113('-'))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE TABL(A,S,NOVAR,UBO,FREQ,PCT,STATS,NO,NV,TEXT)
      DIMENSION A(1),S(1),UBO(1),FREQ(1),PCT(1),STATS(1)
      DIMENSION WBO(3)
      DIMENSION X(20),FX(20),TEXT(1)
      INTEGER*2 NO
      WRITE(6,6030) (TEXT(L),L=1,10)
6030) FORMAT('1AUSWERTUNG DES SIMULATIONSLAUFS FUER',10A4,/////)
      DO 5 I=1,3
    5 WBO(I)=UBO(I)
C
C        CALCULATE MIN AND MAX
C
      VMIN=1.0E75
      VMAX=-1.0E75
      IJ=NO*(NOVAR-1)
      DO 30 J=1,NO
      IJ=IJ+1
      IF(S(J)) 10,30,10
   10 IF(A(IJ)-VMIN) 15,20,20
   15 VMIN=A(IJ)
   20 IF(A(IJ)-VMAX) 30,30,25
   25 VMAX=A(IJ)
   30 CONTINUE
      STATS(4)=VMIN
      STATS(5)=VMAX
```

```
C
C          DETERMINE LIMITS
C
      IF(UBO(1)-UBO(3)) 40,35,40
   35 UBO(1)=VMIN
      UBO(3)=VMAX
   40 INN=UBO(2)
C
C          CLEAR OUTPUT AREAS
C
      DO 45 I=1,INN
      FREQ(I)=0.0
   45 PCT(I)=0.0
      DO 50 I=1,3
   50 STATS(I)=0.0
C
C          CALCULATE INTERVAL SIZE
C
      SINT=ABS((UBO(3)-UBO(1))/(UBO(2)-2.0))
      WRITE(6,6000) SINT
 6000 FORMAT(' INTERVAL SIZE',F23.5)
C
C          TEST SUBSET VECTOR
C
      SCNT=0.0
      IJ=NO*(NOVAR-1)
      DO 75 J=1,NO
      IJ=IJ+1
      IF(S(J)) 55,75,55
   55 SCNT=SCNT+1.0
C
C          DEVELOP TOTAL AND FREQUENCIES
C
      STATS(1)=STATS(1)+A(IJ)
      STATS(3)=STATS(3)+A(IJ)*A(IJ)
      TEMP=UBO(1)-SINT
      INTX=INN-1
      DO 60 I=1,INTX
      TEMP=TEMP+SINT
      IF(A(IJ)-TEMP) 70,60,60
   60 CONTINUE
      IF(A(IJ)-TEMP) 75,65,65
   65 FREQ(INN)=FREQ(INN)+1.0
      GO TO 75
   70 FREQ(I)=FREQ(I)+1.0
   75 CONTINUE
      IF (SCNT)79,105,79
C
C          CALCULATE RELATIVE FREQUENCIES
C
   79 DO 80 I=1,INN
   80 PCT(I)=FREQ(I)*100.0/SCNT
C
```

```
C         CALCULATE MEAN AND STANDARD DEVIATION
C
      IF(SCNT-1.0) 85,85,90
   85 STATS(2)=STATS(1)
      STATS(3)=0.0
      GO TO 95
   90 STATS(2)=STATS(1)/SCNT
      STATS(3)=SQRT(ABS((STATS(3)-STATS(1)*STATS(1)/SCNT)/(SCNT-1.0)))
   95 DO 100 I=1,3
  100 WBO(I)=WBO(I)
      STATS(1)=STATS(5)-STATS(4)
      WRITE(6,6010) STATS(4),STATS(5),STATS(1),STATS(2),STATS(3)
 6010 FORMAT(' MINIMUM =',T23,F15.2/' MAXIMUM =',T23,F15.2/
     *       ' RANGE =',T23,F15.2/' ERWARTUNGSWERT =',T23,F15.2/
     *       ' STANDARDABWEICHUNG =',T23,F15.2////)
      WRITE(6,6020)
 6020 FORMAT(' KL.',5X,'X',6X,'H(X)',4X,'HF(X)',6X,'VF(X)'/42('-')/)
      X(1)=STATS(4)
      FX(1)=0.00
      N1=INN-2
      DO 200 I=2,N1
      X(I)=X(I-1)+SINT
  200 FX(I)=FX(I-1)+PCT(I)
      N1=N1+1
      X(N1)=STATS(5)
      FX(N1)=FREQ(N1)+FREQ(INN)
      FREQ(N1)=FX(N1)
      PCT(N1)=FX(N1)/SCNT
      FX(N1)=100.00
      DO 210 I=1,N1
  210 WRITE(6,6040) I,X(I),FREQ(I),PCT(I),FX(I)
 6040 FORMAT(I3,F10.2,F7.0,F10.4,F10.4)
      DO 220 I=1,N1
  220 WRITE(14,1400) X(I),FX(I)
 1400 FORMAT(2A4)
  105 RETURN
      END
//
```

INTERVALLBREITE =	124.56
MINIMUM =	395.54
MAXIMUM =	2637.53
RANGE =	2242.00
ERWARTUNGSWERT =	1605.07
STANDARDABWEICHUNG =	431.39

KL.	X	H(X)	WF(X)	VF(X)
1	395.54	0.	0.0	0.0
2	520.09	7.	0.0070	0.0070
3	644.65	6.	0.0060	0.0130
4	769.20	6.	0.0060	0.0190
5	893.76	23.	0.0230	0.0420
6	1018.31	57.	0.0570	0.0990
7	1142.87	75.	0.0750	0.1740
8	1267.42	48.	0.0480	0.2220
9	1391.98	71.	0.0710	0.2930
10	1516.53	113.	0.1130	0.4060
11	1641.09	158.	0.1580	0.5640
12	1765.64	103.	0.1030	0.6670
13	1890.20	42.	0.0420	0.7090
14	2014.76	64.	0.0640	0.7730
15	2139.31	128.	0.1280	0.9010
16	2263.87	53.	0.0530	0.9540
17	2388.42	12.	0.0120	0.9660
18	2512.98	14.	0.0140	0.9800
19	2637.53	20.	0.0200	1.0000


HISTOGRAM 1
FREQUENCY 0 7 6 6 23 57 75 48 71 113 158 103 42 64 126 53 12 14 20
EACH * EQUALS 4 POINTS
INTERVAL 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Anhang III

- *Druckausgabe des Programms PLRG*

POLYNOMIAL REGRESSION.....STRAT1

NUMBER OF OBSERVATIONS 19

POLYNOMIAL REGRESSION OF DEGREE 1

INTERCEPT -0.3444934E+00

REGRESSION COEFFICIENTS
0.5448144E-03

ANALYSIS OF VARIANCE FOR 1 DEGREE POLYNOMIAL

SOURCE OF VARIATION	DEGREE OF FREEDOM	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	IMPROVEMENT IN TERMS OF SUM OF SQUARES
DUE TO REGRESSION	1	2.64411	2.64411	403.76440	2.64411
DEVIATION ABOUT REGRESSION	17	0.11133	0.00655		
TOTAL	18	2.75544			

POLYNOMIAL REGRESSION OF DEGREE 2

INTERCEPT -0.3501503E+00

REGRESSION COEFFICIENTS
0.3539219E-03 0.6359534E-07

ANALYSIS OF VARIANCE FOR 2 DEGREE POLYNOMIAL

SOURCE OF VARIATION	DEGREE OF FREEDOM	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	IMPROVEMENT IN TERMS OF SUM OF SQUARES
DUE TO REGRESSION	2	2.65730	1.32865	216.61360	0.01319
DEVIATION ABOUT REGRESSION	16	0.09814	0.00613		
TOTAL	18	2.75544			

POLYNOMIAL REGRESSION OF DEGREE 3

INTERCEPT 0.3439373E+00

REGRESSION COEFFICIENTS

-0.1319746E-02 0.1318826E-05 -0.2759637E-09

ANALYSIS OF VARIANCE FOR 3 DEGREE POLYNOMIAL

SOURCE OF VARIATION	DEGREE OF FREEDOM	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	IMPROVEMENT IN TERMS OF SUM OF SQUARES
DUE TO REGRESSION	3	2.74051	0.91350	918.03638	0.08321
DEVIATION ABOUT REGRESSION	15	0.01493	0.00100		
TOTAL	18	2.75544			

POLYNOMIAL REGRESSION.....STRAT1

POLYNOMIAL REGRESSION OF DEGREE 3

TABLE OF RESIDUALS

OBSERVATION NO.	X VALUE	Y VALUE	Y ESTIMATE	RESIDUAL
1	395.53516	0.0	0.03118	-0.03118
2	520.09058	0.00700	-0.00454	0.01154
3	644.64600	0.01300	-0.01270	0.02570
4	769.20142	0.01900	0.00350	0.01550
5	893.75684	0.04200	0.04087	0.00113
6	1018.31226	0.09900	0.09619	0.00281
7	1142.86768	0.17400	0.16628	0.00772
8	1267.42310	0.22200	0.24793	-0.02593
9	1391.97852	0.29300	0.33794	-0.04494
10	1516.53394	0.40600	0.43312	-0.02712
11	1641.08936	0.53400	0.53026	0.00374
12	1765.64478	0.66700	0.62616	0.04084
13	1890.20020	0.70900	0.71763	-0.00863
14	2014.75562	0.77300	0.80147	-0.02847
15	2139.31104	0.90100	0.87447	0.02653
16	2263.86646	0.95400	0.93344	0.02056
17	2388.42187	0.96600	0.97517	-0.00918
18	2512.97729	0.98000	0.99648	-0.01648
19	2637.53345	1.00000	0.99415	0.00585

CHART 3

305.5252 1 2
532.0003 2 1
671.0464 2 1
907.3304 2 1
909.9479 2
1035.1160 2 1
1173.3711 2 1
1310.4345 1 2
1492.1445 1 2
1539.4114 1 2
1575.4770 2 1
1743.1270 2 1
1905.4521 1 2
2042.7175 1 2
2179.0027 2 1
2271.4027 2 1
2403.7591 1 2
2544.0232 1 2
2637.5334 2 1

Lebenslauf

Geburtsdatum und Ort:	30. April 1946, Herford
Eltern:	Reinhold Bock, Maschinenbauingenieur Gisela Bock, geb. Enger
Staatsangehörigkeit:	deutsch
Reifezeugnis:	25. Februar 1965 Humanistisches Gymnasium Herford
Praktikum:	1. April 1965 bis 30. September 1968 technisches und kaufmännisches Praktikum in Betrieben der Textil- und Bekleidungsindustrie
Hochschule:	1968 - 1972 Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster Diplomexamen 20. Oktober 1972
Tätigkeit nach dem Diplomexamen:	Seit dem 1. November 1972 Verwalter einer wissenschaftlichen Assistentenstelle am Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Organisationstheorie und EDV Seit dem 1. August 1976 wissenschaftlicher Assistent